

全波形光達與高光譜影像融合於地物分類應用

Data Fusion of Airborne Hyperspectral and Full Waveform LiDAR Data for Land Cover Classification

主管單位：內政部地政司

王驥魁¹ 朱宏杰² 林志交³ 曾義星⁴

Wang, Chi-Kuei¹ Chu, Hone-Jay² Lin, Chih-Chiao Tseng, Yi-Hsing

¹ 國立成功大學測量及空間資訊學系副教授

² 國立成功大學測量及空間資訊學系助理教授

³ 中興測量有限公司技師

⁴ 國立成功大學測量及空間資訊學系教授

摘要

光譜影像能提供監測地區之各地物之反射光譜並將之進行分類；全波形光達則可用於獲得高精度之三維地形資訊與記錄不同地物的光達回波資訊，藉由全波形光達資料的波形重建技術，可反映各種土地利用之波形特性。本研究目的為結合兩種資料之優勢，以高空間且高光譜解析度之影像進行影像融合，提供另一種土地利用分類之影像資料。本研究應用 ATLM Pegasus 光達系統搭配 Itres CASI-1500 高光譜系統，於曾文水庫集水區上游進行 35 km² 之資料獲取，光達點雲密度達每平方公尺 2 點。高光譜影像地面解析度為 1 公尺，波段範圍包含 362.8 至 1051.3 nm，光譜解析力 9.6 nm，分 72 個波段紀錄。本研究核心主要以主成分分析(PCA)與最小噪聲轉換(MNF)，兩種多變量統計之數理運算，作為影像融合技術的基礎，將影像融合後，以最大概似法進行地物的分類判釋。相較於原始高光譜影像，融合影像之土地利用分類成果顯示，Kappa 值由 0.88 提升至 0.93，整體精度也由 89.55% 提高為 93.82%。分類精度評估表亦顯示融合影像提昇了水體、茶園、建地以及檳榔園的分類正確率，且分類地物的區塊也較為完整。由分類精度評估可知，結合高光譜與全波形光達不僅能提供高精度與高光譜之資料，以適當的影像計算降低資料維度，亦可提高影像的分類精度。

關鍵字：全波形光達系統、高光譜影像、影像融合技術、主成份分析、最小噪聲轉換

Abstract

The Spectral image can provide reflectance spectra for land use classification in a monitoring area. Unlike spectral instruments, the full waveform LiDAR system acquires the high-precision 3D elevation information along with the full waveform return from the land

surface. The shape of the full waveform reflects the characteristics of the surface. The purpose of this study is to develop an efficient approach that integrates hyperspectral and full waveform LiDAR data for detecting land use clusters.

The LiDAR data acquired by an ATLM Pegasus LiDAR system had a point density of 2 points/m². The 72-band hyperspectral data acquired by an Itres CASI-1500 hyperspectral system had a pixel resolution of 1 m, covering the spectrum range of 362.8 – 1051.3 nm, with a spectral resolution of 9.6 nm in upper stream of Tsengwen Reservoir watershed. The kernel of this study is using multivariate statistical models, Principal Component Analysis (PCA) and Minimum Noise Component (MNF) for data fusion. Based on fused data, this study used a maximum likelihood approach for land use classification.

The classification results showed that the fused image achieved a better accuracy than the hyperspectral image, where the Kappa increased from 0.88 to 0.93 and the total accuracy increased from 89.55% to 93.82%, for the reservoir test site. Noticeably, the classification accuracy of water, tea farm, built-up, and areca farm had great improvements, and the classified pixels also showed higher degrees of clumpiness than using hyperspectral image alone.

We conclude that the increased classification accuracy can be obtained by fusing the full waveform LiDAR data and the hyperspectral data. Decrease the dimension of an appropriate fusion image can not only provide high-precision and high-spectral information but also improve the classification accuracy.

Keywords : Full waveform lidar systems, Hyperspectral imaging, Image fusion, Principal component analysis, Minimum noise fraction.

一、前言

科技日新月異，隨著遙測影像空間解析度或光譜解析力的提升，在劃定土地覆蓋分類製圖時，高光譜影像提供了不可或缺的重要資訊以提高地物描繪與判釋分類的的能力。近年熱門的遙測新技術「空載光達掃瞄系統」乃為繼光譜影像之外，另一獲地貌結構資訊的方法。全波形光達的多重回波資料，不僅有效取得高精度的三維地形測繪成果，透過波形的重建更使光達資料兼具了協助土地利用分類的資料特性。

過去研究中，朱健銘與蔡博文(2005)以 EO-1 Hyperion 於山區進行土地利用分類發現，雖然高光譜影像已將影像進行轉換且能分類辨別出光譜相近的土地利用類別，但受限空間解析度不足，在道路或溪流等線型面積較小的地物仍會有誤判的狀況。Lim 等人(2003)研究中也提出樹冠鬱閉度與密度將顯著影響 LiDAR 接收之回波資料，此一特性可輔助遙測影像有效取得地表高及地面高。Dalponte 等人(2008)曾利用 LiDAR 與高光譜數據融合，針對森林分類問題提出討論。

爰此，本研究使用全波形空載光達系統進行掃瞄作業，首先利用空載高光譜掃瞄儀進行飛航掃瞄規劃，取得高空間解析度的光譜資料及高分辨率之光譜訊息，並藉由全波形光達資料於空間幾何描述之特性，結合高光譜資料紀錄地表反射資訊的優勢，透過此兩種類型的資料整合、融合，提升影像資料的實用價值。

本研究採用 MNF 及 PCA 做為高光譜數據及光達資料融合時選取主要特徵值(Eigenvalue)之依據，除了針對特徵值篩選自相關度高的成份軸，也利用影像解釋率(Contribution)做為篩選條件之一。然而，為避免遺漏其他低特徵值但成份軸影像良好的影像，本研究以影像解釋作為首要篩選原則，針對高光譜影像及光達回波影像逐一過濾挑選較佳的主成份軸。

本研究主要目的為(1)合併高光譜影像與光達數據應用於土地利用分類之可行；(2)利用 MNF 及 PCA 方法對高光譜影像及光達數據做降維度使用；(3)根據融合影像，測試刪減資料後，在檢測土地利用分類時之精確度評估影響。

二、研究地區、材料與研究方法

本研究工作主要使用空載全波形光達儀器 (Optech ALTM Pegasus) 搭配中像幅相機 (Dimac Ultralight + 60MP) 與空載高光譜儀 (Itres CASI-1500) 並且進行全波形光達資料與高光譜影像之拍攝作業。測試樣區則選定曾文水庫集水區位於曾文溪主流之上游河段，以影像融合技術結合高光譜影像及全波形光達資料，進行測試區之土地使用覆蓋類別分類判釋，並以正射影像做為地真資料，進行分類後精確度評估。

2.1 研究區域

曾文水庫位於嘉義縣大埔鄉曾文溪主流上游，總容量達 7 億立方公尺，為台灣地區容量最大之水庫。主要供給嘉南地區農業、民生及工業用水，並與烏山頭水庫相互配合調節運用，兼具水力發電、給水、防洪及觀光等效用。考量本研究之執行時程與經費限制，本研究選定曾文水庫集水區上游作為影像融合技術之測試樣區，使用 TWD 97 坐標系統，研究區左上角坐標為(214127.268, 2582880.695)至右下角坐標(219127.268,

2575880.695)，面積約為 35 km²。曾文溪主流約 56.2 km，該測試區位於其位曾文溪主流之上游河段（圖 1），海拔高度約為 270~1270 公尺，平均坡度約為 24°。

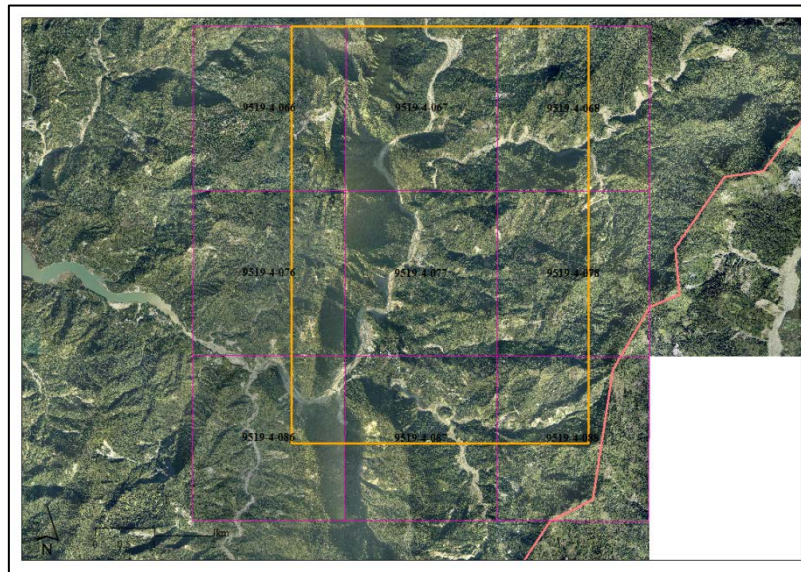


圖 1、本研究位於曾文水庫上游之影像融合技術測試樣區

2.2 研究材料

空載高光譜儀主要目的為獲取窄波段連續光譜影像數據，使每一個像元有幾乎連續的光譜數據。全波形光達系統為整合雷射測距、光學掃瞄、全球定位系統及慣性導航系統等技術，具有快速獲得掃瞄點之瞬時三維坐標及反射強度波形的特性。正射影像則具有訊息量大、形象直觀、易於判讀和現勢性強等諸多優點，因而常被應用到地理資訊系統(GIS)中。

2.2.1 航拍掃瞄儀器

1. 空載高光譜儀

本研究高光譜儀採用 Iters CASI-1500 空載光譜儀，光譜波長介於 380nm~1050nm 之間(相當於可見光至近紅外光波段範圍)，至多可獲取 288 個波段之光譜資訊。使用之高光譜儀器以離地高 1500 公尺，FOV 為 40°之掃瞄參數獲取地面解析度為 1 m 之影像，由於儀器之特性，頻寬以 9.6 nm 平均分配於所收集光譜資料之資料為佳，頻寬間距若再細分可能造成資料雜訊過多，最後共計採用 72 個波段數。

經儀器率定校正、輻射校正(Radiometric Correction)、幾何校正(Geometric Correction)後，以 ENVI FLAASH 輻射傳輸模型、經驗法則(Empirical Line)進行大氣校正(Atmospheric Correction)處理。根據本研究選定之輸射傳輸模，配合每條航帶之 GPS 時間、經緯度、飛航高度以及由 LiDAR 所得到之平均地面高程資訊，進行 FLAASH 大氣校正，藉由地面光譜儀的資料，評估 FLAASH 大氣校正結果發現，在波長 700nm 以下，反射率的差異隨波長的降低而增大，但在波長 406.1nm ~ 434.9nm 反射率有負值出現，且陰影區反射率也有小部份呈現負值。由於 FLAASH 大氣校正結果出現許多不合理數值，無法與地面光譜儀結果有良好的對照，因而本研究另使用經驗式建立地面點與影像

之間的關係式，根據光譜採樣反推影像 DN 值與反射率間的線性關係進行大氣校正，藉由此線性關係找出適合進行迴歸校正的光譜反射數值。以植被為比較對象，經驗式與 FLAASH 之大氣校正結果發現兩者有相似趨勢，但 FLAASH 在 500nm 以下反射率為負值或趨進於零的情況（圖 2），故在本研究中採用經驗式進行大氣校正。

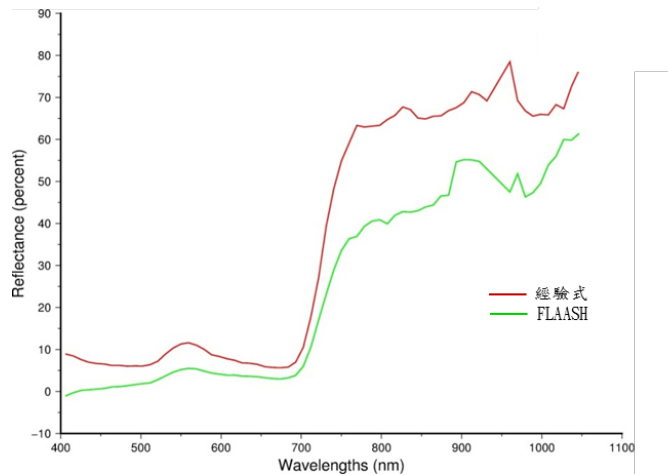


圖 2、經驗式與 FLAASH 於植被的結果比較

2. 空載全波形光達儀器

全波形光達系統主要包含：「雷射掃瞄組件」以及「定位與定向組件(Position and Orientation System, POS)」二大部分。其中雷射掃瞄組件之性能如測距範圍、掃瞄寬度(掃瞄角)、點位密度(掃瞄頻率)等，直接影響施測之能力；定位與定向組件之性能，則是影響測點精度之關鍵。目前一般全波形紀錄器所紀錄之回波強度的取樣頻率(f)為 1GHz (即每秒光達可記錄 10^9 次)。ALTM 全波形紀錄器為每個光束記錄 440 個 samples 值，因此回波紀錄約為 66 公尺。本研究使用之全波形光達儀器掃瞄航線參數為，離地面高度 1500 m 之各航帶光達點雲密度為 2.3 pts/m^2 、航帶重疊率為 50%，FOV 為 40° 。

延續先前全波形光達之波形重建技術於「100 年度發展先進光達空載光達科技與應用工作案」，本研究波形重建利用 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 網格進行波形資料之取樣，計算該網格內之平均光達強度值，藉由網格式影像之儲存方式(圖 3)，以 256 個維度(0~255)重新展現地物之全波形光達資料的波形資訊。

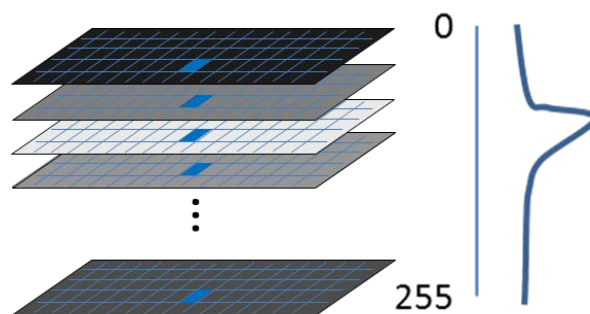


圖 3、以網格式資料呈現平均光達強度值之影像組成示意圖

2.3 研究方法

本研究融合處理以統計原理作為基礎，透過多變量統計方式獲取具有代表性且較佳的影像統計特徵。Pohl and Genderen (1998) 於「融合」一詞之解釋為，可依據其運算資料來源與運算式之作用階段，分為三種不同的處理層級(圖4)。像元層級(Pixel Level)，分別以各影像來源組成一幅全新的影像；特徵層級 (Feature Level)，事先將來源影像的形狀或鄰近初始圖像之特徵進行萃取；決策層級 (Decision Level)，利用 Feature Level 所獲得之特徵影像，以決策方式判釋影像上的異同資料，進而加強融合影像資料之獨特性。本研究以 Pixel Level 層級進行融合處理，獲取具有代表性且較佳的像統計特徵。

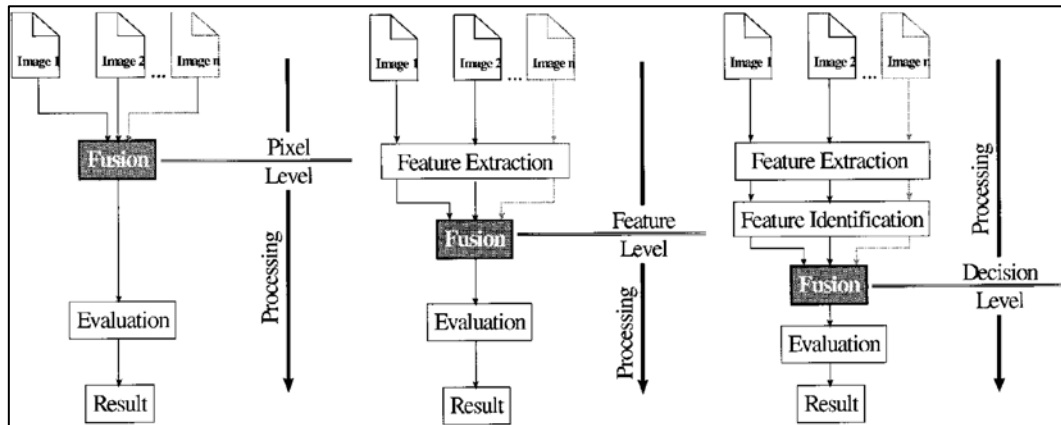


圖 4、融合影像之不同處理等級 (Pohl and van Genderen, 1998)

2.3.1 影像融合技術處理

隨著 LiDAR 硬體設備的蓬勃發展，可蒐集數據密度及精度越來越高，數據量也就與日俱增。在提高了準確度的同時卻也增加了系統運算的負荷，因而降低了後續處理的效率。Mutlu 等人(2008)利用常見降維度方法融合光達與多光譜數據，如主成份分析(PCA)及最小噪聲轉換(MNF)，相較多光譜數據，數據融合後影像在土地利用分類整體精度由 76.52% 提升至 90.10%。因此，本研究將分別以 MNF 與 PCA 各別針對高光譜與全波形光達影像進行處理。主成分分析主要乃透過主成份線性轉換模式(式1)，將 DN 值以正交旋轉方式轉換至能涵蓋最多資訊的成分向量，進而利用特徵值 (Eigen value) 挑選 k 個特徵向量，在降低光譜資料的維度同時仍可維持資料的品質。

$$Y = AG \quad (1)$$

其中，Y 為旋轉後影像；A 為主成份轉換矩陣 (principal components transformation matrix)；G 為原始影像。

最小噪聲轉換主要運算架構仍是藉由 PC 旋轉的線性轉換。但有別於 PCA，MNF 將影像分為訊號與雜訊，故原影像的共變異矩陣 (covariance matrix) 可視為訊號與雜訊共變異矩陣的總合(式2)。

$$\Sigma = \Sigma_S + \Sigma_N \quad (2)$$

其中， Σ 為原影像之共變異矩陣， Σ_S 為訊號之共變異矩陣， Σ_N 則代表影像雜訊之共變異矩陣。

因此 MNF 之轉換處理分為兩次的成分旋轉。第一次旋轉主要乃是利用自身噪訊的共變異矩陣。以藉此將影像資料解相關 (decorrelate) 並比例重組，降低轉換後各波段間相關性且具有單位變異 (unit variance) 的雜訊影像。其次，經由去除單位變異雜訊後，以主成分分析依各成分特徵值大小重新排列成新的影像資料。

MNF 旋轉模式優於 PCA 的主要原因在於其屏除了影像雜訊對統計上的影響，故高光譜影像處理的轉換法，前人也多選擇其方法使用。然而 MNF 於進行噪訊處理時需選擇同質性區域進行雜訊計算，且必須遵守 Σ 與 Σ_N 兩者皆為正定矩陣的條件。由於 ALTM Pegasus 之光達回波僅記錄有效的光達回波資訊而不紀錄雜訊資訊，因此全波形光達資料有大量的回波強度訊號值幾乎為零，故選擇光達回波影像的同質性地區時，大部份無法符合正定矩陣之條件。

基於上述理由，高光譜資料之影像處理乃選擇 MNF 作為其研究方法，全波形光達影像則選以 PCA 進行影像處理。各轉換後影像以參考成分軸之特徵值比率，波段逐一篩選之方式，挑選過濾各主成份影像，並將各別所挑選出的有利且較具應用價值之主成分，重新疊合成新的影像，再利用合併後影像進行 PCA 轉換，獲取有利分類的融合影像，詳述流程圖如圖 5。

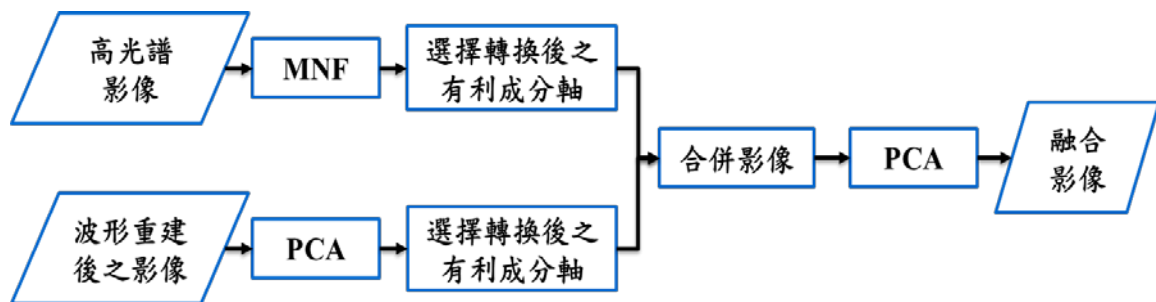


圖 5、以高光譜影像與全波形光達資料進行融合影像之研究流程圖

2.3.2 影像融合成果評估分析

影像融合成果評估方法係將高光譜影像與融合影像，以相同訓練樣區進行監督式分類判釋，並由正射影像選擇相同檢核點以評估分類影像之準確性。本研究參考常使用於非點源污染輸出量計算之土地利用類別 (包含水體、森林、茶園、草地、裸露地、建地及檳榔園)，並包含雲體與陰影共九類進行判釋。為降低地形效應造成之陰影，造成分類混淆的情形，本研究排除雲體及陰影，依據每種土地使用分類別 (共七大分類)，各隨機產生 60 個地真檢核點，以逐點方式人工判釋該像元點之類別，共計 420 個檢核點位置。並利用生產者精度 (User's Accuracy, UA)、使用者精度 (Producer's Accuracy, PA)、整體精度 (Overall Accuracy, OA) 與 Kappa 值作為評估與比較兩種影像分類應用之準確性。

三、研究成果

3.1 影像融合處理成果及評估分析

本研究將高光譜影像與光達回波影像分別進行 MNF 與 PCA 轉換運算，所計算之影像因子負荷量可用以解釋各成分間之權重值，並獲得各成分軸的特徵值 (Eigenvalue)。

除了針對特徵值篩選自相關度高的成份軸，亦利用影像解釋率 (Contribution) 作為篩選條件。然而，為避免遺漏其他低特徵值但成份軸影像良好的影像，因此各自再針對高光譜影像與光達回波影像以逐一過濾方式挑選較佳的主成份軸。經篩選後，高光譜影像係保留了 8 個成份軸，影像解釋率約為 95.65%，光達回波影像則保留 7 個成份軸，解釋率約為 96.09% (如表 1，粗體部分即為篩選的成份軸)。透過上述的篩選結果將所獲得之重組後影像再以 PCA 進行轉換，完成高光譜影像與全波形光達資料之融合影像。

表1、分別以MNF與PCA之影像解釋率篩選轉換後之影像成份軸

Hyperspectral image (MNF)				LiDAR (PCA)			
PC	Eigen value	Contribution	Cumulative Contribution	PC	Eigen value	Contribution	Cumulative Contribution
1	2752.210	73.784	73.78	1	12028.768	70.225	70.22
2	401.658	10.768	84.55	2	1921.094	11.216	81.44
3	202.055	5.417	89.97	3	1464.217	8.548	89.99
4	94.497	2.533	92.50	4	722.770	4.220	94.21
5	54.806	1.469	93.97	5	316.700	1.849	96.06
6	40.292	1.080	95.05	6	206.545	1.206	97.26
7	27.240	0.730	95.78	7	138.554	0.809	98.07
8	24.331	0.652	96.43	8	84.731	0.495	98.57
9	14.281	0.383	96.82	9	65.397	0.382	98.95
10	13.461	0.361	97.18	10	42.242	0.247	99.20
11	10.694	0.287	97.46	11	33.879	0.198	99.40
12	8.196	0.220	97.68	12	23.289	0.136	99.53
13	6.467	0.173	97.86	13	17.322	0.101	99.63
14	5.403	0.145	98.00	14	11.401	0.067	99.70
15	5.207	0.140	98.14	15	9.762	0.057	99.75
16	4.404	0.118	98.26	16	6.199	0.036	99.79
17	3.541	0.095	98.36	17	4.199	0.025	99.81
18	3.279	0.088	98.44	18	3.903	0.023	99.84
19	3.167	0.085	98.53	19	3.320	0.019	99.86
				20	2.792	0.016	99.87
				21	2.406	0.014	99.89
				22	1.925	0.011	99.90
				23	1.598	0.009	99.90
				24	1.384	0.008	99.92
				25	1.041	0.006	99.92
Contribution of the select PC axes			95.65	Contribution of the select PC axes			96.09

3.2 影像分類後之精度評估分析

本研究以最大概似法之監督式影像分類進行土地使用分類，高光譜影像分類成果與融合後分類成果則分別呈現於圖 6。

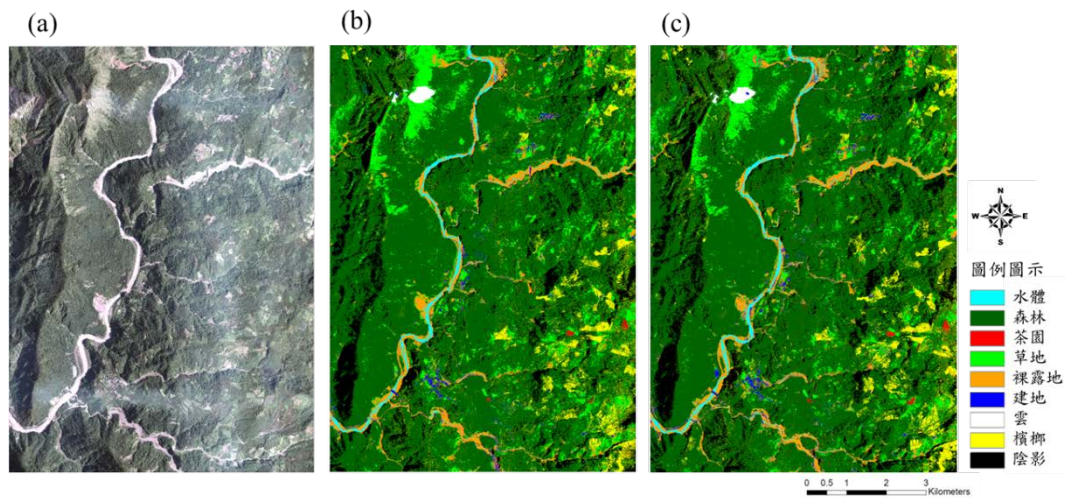


圖 6、(a)正射影像；(b)高光譜影像分類成果；(c)融合影像分類成果

3.2.1 高光譜影像分類精度評估

排除陰影及雲體此二項分類後，本研究以正射影像做為地真參考，將七大分類各隨機產生60個地真檢核點，以人工方式逐點進行判釋該像元點之類別，總共420個檢核

		地真資料							總計	使用者 精度
		水體	森林	茶園	草地	裸露地	建地	檳榔園		
分 類 結 果	水體	56	0	0	0	0	0	0	56	100.00%
	森林	0	58	12	4	1	0	7	82	70.73%
	茶園	0	0	47	0	0	0	0	47	100.00%
	草地	0	2	1	56	0	0	0	59	94.92%

點位置，分類結果精評估產生之Kappa統計值及其各類分類精度檢核置於表2。

表2、水庫集水區測試區之高光譜影像之分類混淆矩陣與分類精度檢核表

	裸露地	4	0	0	0	57	11	0	72	79.17%
	建地	0	0	0	0	2	49	0	51	96.08%
	檳榔園	0	0	0	0	0	0	53	53	100.00%
	總計	60	60	60	60	60	60	60	420	
生產者精度	93.33%	96.67%	78.33%	93.33%	95.00%	81.67%	88.33%			
整體精度 89.55% Kappa 值 0.88										

經由表2中發現，高光譜分類成果中，仍存在有類別間的誤漏判。針對檢核分類錯誤的地區對照正射影像後，發現錯誤分類檢核點多為與其他地物分類的交界邊緣，如行水區與河岸兩側之淺灘，水體被誤分為裸露地；森林與其他植生用地類型邊界，易有茶園、草地或檳榔園誤判為森林等情形。另外，裸露地與建地部份，雖有相互誤判之情形，但建地誤判為裸露地情況較高(圖7)。經實地探查後瞭解，可能因為本研究區位於山區，道路與平面建成地易有塵土覆蓋及道路兩側時有坍方落石伴隨塵土飛揚，因而造成建地(道路部份)之檢核點被誤判為裸露地呈度較高。

且由表2中也可看出，水體、森林、草地及裸露地的生產者精度均達90%以上，生產者精度低於80%的僅有茶園此分類，由生產者精度(User's Accuracy) 定義為地表狀態被正確分類的比率看來，顯示本研究以高光譜影像做為土地使用分類成果良好。雖然森林及裸露地的使用者精度低於80%，但整體精度高達89.55%、Kappa統計為0.88，解釋分類結果佳，可做為後續分析之使用。

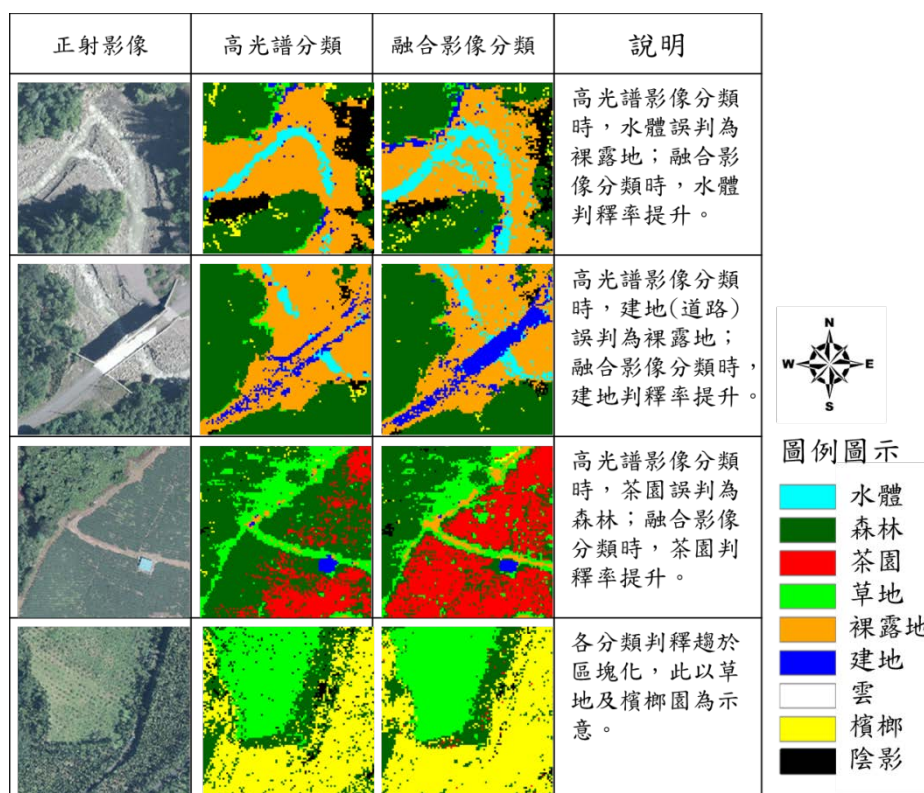


圖 7、(a)正射影像；(b)高光譜影像分類成果；(c)融合影像分類成果

3.2.2 融合影像分類精度評估

經由上述已證實高光譜影像在不考慮降維度之前提下，可提供更多光譜資訊協助土

		地真資料							使用者 精度	
		水體	森林	茶園	草地	裸露地	建地	檳榔園		總計
分 類 結 果	水體	58	0	0	0	0	0	0	58	100.00%
	森林	0	58	4	3	0	0	3	68	85.29%
	茶園	0	1	56	0	0	0	0	57	98.25%
	草地	0	1	0	56	0	0	0	57	98.25%
	裸露地	2	0	0	0	57	7	0	66	86.36%
	建地	0	0	0	0	3	53	0	56	94.64%
	檳榔園	0	0	0	1	0	0	57	58	98.28%
	總計	60	60	60	60	60	60	60	420	

地利用的分類。然而在影像融合之後，是否能仍保有高光譜影像與光達資料的資料優勢則是以下評估分析所需要瞭解的。本研究先前採用相同檢核點，對融合影像分類成果進行精度檢核，評估成果如下表3。由表3中可看出，除了建地以外，各分類用地之生產者精度均在90%以上，建地的生產者精度也接近90%，而使用者精度部份，各分類地用均達85%以上，整體精度達94.05%，Kappa值為0.93。由此可知，本研究之融合影像分類成果十分優異，尤其又以水體與檳榔園之分類成果表現為佳，其二者分類之生產者精度及使用者精度均高達95%以上。

雖然，裸露地與建地仍有相互誤判狀況，但相較僅以高光譜影像做為分類而言仍有所改善；茶園與檳榔園原本混淆為森林的情形也成功被區分。目視融合影像分類後影像並將其與高光譜分類成果相比發現(圖6)，曾文溪上游的行水區兩旁之裸露地也能明顯與河川的淺水區劃分，原本高光譜分類影像中未出現的小面積茶園也能夠被判釋到正確的地物類別，零碎的檳榔園用地亦趨向區塊化。

表3、水庫集水區測試區之融合後影像之分類混淆矩陣與分類精度檢核表

生產者精度	96.67%	96.67%	93.33%	93.33%	95.00%	88.33%	95.00%		
整體精度 94.05% Kappa 值 0.93									

為此，本研究另將高光譜影像及融合影像之分類精度評估比較表置於表 4，融合後影像各類項分類生產者精度均有正向的提升；使用者精度則在分類面積佔比較小的茶園、建地及檳榔園降低些許，但均不超過 2%。綜合而言，高光譜影像抑或融合影像的辨識能力均為高成功判釋率，而融合影像分類成果更勝一籌。

表4、水庫集水區測試區之高光譜影像及融合影像之分類精度比較表

	生產者精度 (%)			使用者精度 (%)		
	高光譜影像	融合影像	差異量	高光譜影像	融合影像	差異量
水體	93.33	96.67	3.34	100.00	100.00	0.00
森林	96.67	96.67	0.00	70.73	85.29	14.56
茶園	78.33	93.33	15.00	100.00	98.25	-1.75
草地	93.33	93.33	0.00	94.92	98.25	3.33
裸露地	95.00	95.00	0.00	79.17	86.36	7.19
建地	81.67	88.33	6.66	96.08	94.64	-1.44
檳榔園	88.33	95.00	6.67	100.00	98.28	-1.72
	高光譜影像	融合影像	差異量			
整體精度	89.55%	94.05%	4.50%			
Kappa 值	0.88	0.93	0.05			

3.2.3 累增融合影像波段測試分類精度評估

由上述討論可知，融合影像可解決大部分植生區域混淆的問題，使影像分類整體精度提高 4.5%，Kappa 值提升 0.05，雖然裸露地與建地的分類仍有待改進之處，但總體而言，應用高光譜影像與光達資料進行融合，其融合影像對於土地利用的分類乃有其優勢與助益之處。又本研究將篩選結果所獲得之重組後影像再以 PCA 進行轉換，完成高光譜影像與全波形光達資料之融合影像，已確認降低維度及篩選後資料有助於土地使用分類判釋。為探究本研究降低維度之篩選後資料數量，是否已足夠提供充分資訊進行影像分類辨識使用，以本次測區資料篩選出 15 個成份軸之重組合併影像，經 PCA 後之融合影像，以累增 1 個成份軸方式另輸出影像，使用相同訓練樣本及最大概似法執行土地使用分類，並以同樣 420 個檢核點進行整體精度及 Kappa 值分類精度評估，評估成果曲線如下圖 8。

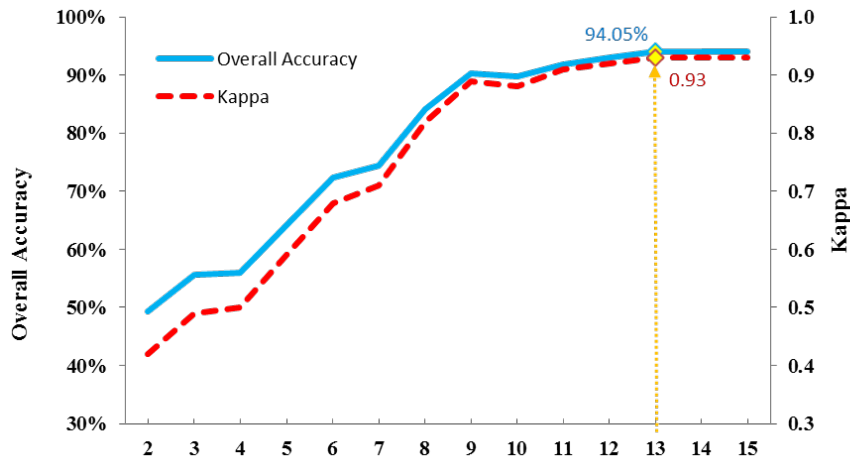


圖 8、累增成份軸之融合數據分類整體精度和 Kappa 值

從圖 8 中發現，當融合影像篩選前 13 個數據時，整體精度已達 94.05%，Kappa 值為 0.93，與先前研究將 15 個成份軸融合後影像相比已達相同的檢核精度，細查表 5 也發現，當考慮前 13 個、前 14 個與前 15 個融合影像成份軸時的分類後檢核精度均相同，表示本研究在大量數據縮減維度前提下，仍可再減少資訊量以達到預期的目標，也顯示本研究採用 15 個成份軸已可提供充分資訊作為土地使用分類之參考。

表 5、累增成份軸之融合數據分類整體精度和 Kappa 值比較表

前 N 個	整體精度	Kappa	前 N 個	整體精度	Kappa
2	49.40%	0.42	9	90.25%	0.89
3	55.58%	0.49	10	89.77%	0.88
4	56.04%	0.50	11	91.91%	0.91
5	64.12%	0.59	12	93.10%	0.92
6	72.43%	0.68	13	94.05%	0.93
7	74.33%	0.71	14	94.05%	0.93
8	84.07%	0.82	15	94.05%	0.93

四、結論與建議

全波形光達的多重回波資料除能有效取得高精度的三維地形，透過波形重建能使光達資料兼具協助高光譜影像於易混淆地區之土地利用分類的資料特性，且由影像融合之評估成果也成功證明該分類判釋乃優於僅單獨使用高光譜影像的分類成果。透過適當的影像轉換方式亦能夠在降低維度的情形下，仍然保有兩種資料特性的地物資訊，能同時提供高空間與光譜的解析力，故結合兩種不同資料的融合影像技術是具有潛力之遙測技術。

2009 年莫拉克颱風伴隨著豪大雨，致使曾文水庫集水區產生大幅崩塌、地滑與落石等，而這些土石材料，若堆積於傾斜的山麓斜坡上，未來在豪雨和颱風時期，容易產生土石流等災情，因此建議該地區宜利用此遙測技術進行長期性的防災監測，以提高下游

居民的生活安全。

參考文獻

1. 朱健銘、蔡博文 (2005), 「以 EO-1 Hyperion 高光譜影像進行山區土地利用分類之研究」, 台灣地理資訊學會研討會。
2. 黃俊偉 (2001), 「大範圍地區土地使用分類之研究」, 國立中央大學碩士論文。
3. 鄭明國、秦明周、胡巍巍(2004), 先驗概率對最大似然法提取土地利用現狀信息精度的影響, 資源科學, 26(2): 94-99。
4. 謝嘉聲、史天元 (1994), 「數據整合方法應用於 SPOT 衛星影像之分析研究」, 航測及遙測學刊 3(3): 19。
5. Alexander, C., Tansey, K., Kaduk, J., Holland, D., and Tate, N.J. (2010) Backscatter coefficient as an attribute for the classification of full-waveform airborne laser scanning data in urban areas. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 65(5): 423-432.
6. Dalponte, M., Bruzzone, L., and Gianelle, D. (2008) Fusion of Hyperspectral and LIDAR Remote Sensing Data for Classification of Complex Forest Areas. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 46 (5): 1416-1427.
7. Lim, K., Treitz, P., Wulder, M., St-Onge, B. and Flood, M. (2003) LiDAR remote sensing of forest structure. *Progress in Physical Geography*, 27(1): 88-106.
8. Mutlu, M., Popescu, C.S., Stripling, C., and Spencer, T. (2008) Mapping surface fuel models using lidar and multispectral data fusion for fire behavior. *Remote Sensing of Environment*, 112(1): 274-285.
9. Pohl, C., and Genderen, J.L.V. (1998) Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications. *International Journal of Remote Sensing*, 19(5): 32.