

應用 SPOT 及空載全偏極合成孔徑 雷達影像辨識地表覆蓋

Landcover Classification Using Multi-sensor Images

台灣大學生物環境系統工程系
博士班研究生

江 介 倫

Jie-Lun Chiang

台灣大學生物環境系統工程系
教授兼系主任

鄭 克 聲

Ke-Sheng Cheng

中央大學太空及遙測研究中心
教授

陳 銀 山

Kun-Shan Chen

摘 要

遙測技術應用日漸廣泛、實務，故靠單一感測器執行環境監測已漸漸無法滿足需求。由於不同感測器有其優缺點，故結合各種不同感測器將使我們得到更大效益。

本研究融合光學影像(SPOT)及空載主動式雷達影像(NASA /JPL PACRIM-II)的特性，結合光譜特徵與組織結構粗糙度之資訊，以提高分類正確率。以嘉義敖鼓農場之 SPOT 及 POLSAR 影像為例，融合二者之分類總體正確率高達 98.67%，高於單以 SPOT 的 97.34%，更遠大於以 AIRSAR C Band 的 HH、HV、VV 等三特徵之分類正確率 65.22%，尤其在二階段分類後可達 99.30%。

結合兩種不同感測器的影像，除了正確率提高外，且雷達影像原有的雜訊也在分類過程中被忽略掉，而且融合後之影像又可呈現無法單從由光學影像看到的細節(如蚵架等)，如此大幅提昇了遙測影像的應用價值。

關鍵詞： SPOT，合成孔徑雷達影像，影像分類，融合。

ABSTRACT

Remote-sensing techniques are getting more and more practical and pervasive. Since a single sensor has limited capability of monitoring the environment, combining multiple sensors achieves a higher coverage. Along with the development of satellite remote sensing techniques, the more sensors are used, the more images can be put in use. This paper studies the integration of SPOT and AIRSAR images in order to combine spectrum features and roughness information to improve classification accuracy.

As a case study, Au-Ku area in Taiwan was selected for the experimental evaluation.

The overall accuracy from the integration of SPOT and AIRSAR images reaches to 98.67%, higher than the 97.34% of SPOT and much higher than the 65.22% of the SAR C band. In addition to this accuracy, it reduces speckle effects of radar images, catches some details (the racks for breeding oyster in coastal waters for example) unavailable in optical images, and enhances the applicability of remote sensing images.

Keywords: SPOT, SAR, Multi-sensor, Classification, Fusion.

一、前言

由於遙測技術的進步，其在環境監測的實用性越來越高，越來越多的案例應用遙測來執行環境監測，而靠單一感測器執行環境監測已漸漸不符合需求，因為不同感測器有其優缺點，故結合各種不同感測器(如主動式與被動式)的資料，截長補短將更能發揮遙測之功能。

本研究將結合空載多波段全偏極合成孔徑雷達影像(Polarimetric Synthetic Aperture Radar, POLSAR)與光學衛星影像(SPOT)之優點，進行影像分類，以辨識地表覆蓋。由於空載雷達影像為主動式影像且機動性高，且可由之得到表面粗糙度或是植生的結構性的資訊，故可以之來提供分類之資訊。另一方面 SPOT 影像之多光譜感測能有效針對不同地物有其反應，例如其中 IR(XS3)波段對植生之葉綠素反應極敏感，如 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)常被應用於植生情況的判斷，植生指標由 Rouse et al. (1973)首次以 MSS7、MSS5 波段比的方式建立了植生指標，即 $NDVI = \frac{MSS7 - MSS5}{MSS7 + MSS5}$ ，由此可知用 Landsat 或 SPOT 等光學影像之光譜特性可以獲得植生之資訊(由葉綠素)。一般來說 NDVI 之值介於-1~1 之間；小於零之像元值，通常屬於非植生的覆蓋，例如雲、水體或建築物等等。此外例如土壤在紅光段反射量強，植物在綠光段中，尤其在近紅外光段反射量強，這些不同地物對於光譜的反射或吸收之特性，可用以判別地物覆蓋種類或狀況。

合成孔徑雷達(SAR)是一種主動式的微波感測器，由於是主動式雷達日夜皆可監測，故具有

全天候且不受雲雨影響的特性，在大部分情況都能進行探測，不像光學影像系統僅能於白天觀測，且天候不佳時即無法觀測。而全偏極合成孔徑雷達(POLSAR)主要的優點在於對相同的地表覆蓋物在不同極化方式具有不同的回波反應，故全極化資料比單極化資料提供更多的地表覆蓋物資訊，這使得對於地表覆蓋物的辨識能力大增。由於多波段多極化能提供比單波段更豐富的地表資訊，因此在本研究中使用多波段多極化的資料及光學影像 SPOT 為分類特徵，進而提升分類的正確率。

二、文獻回顧

SAR 是微波感測器的一種，最早的研究開始於 20 世紀初；1950's Wiley 利用頻率分析的方法以改善雷達的方位角解析度(azimuth resolution)的概念後 SAR 技術才得以蓬勃發展。

地表覆蓋的分類是遙測主要的應用之一，SAR 影像在這方面也有相當廣泛的應用。例如中國大陸在 1996 年期間(Guo, 2001)利用多時段、多模式 Radarsat 雷達衛星影像資料，針對肇慶地區的農作物作物，如甘蔗、香蕉、水稻等等辨識並長期的監測。

但是 SAR 影像應用在分類時，由於其成像之原理會形成透視收縮、陰影及斑駁效應等現象，會嚴重影響到 SAR 影像的分類精度。因此，目前在利用 SAR 影像進行分類的應用時，許多研究會運用各種不同的改進方法以提高分類精度。例如 Van Zyl (1989)以多極化 SAR 影像，針對地物的散射行為，利用非監督性分類方式將地物予以分類；Pierce (1994)等人以 SIR-C 的 L 及 C 波段進行分類，將地表覆蓋分為高莖植物、低

莖植物、都市區，及裸露地等 4 類；運用雷達散射的知識基礎以面散射與體散射之後向散射係數，建立階段式的分類方式，對多波段多極化 SAR 影像進行地物分類，結果分類正確率皆介於 91%~100% 間。而 Chen 等人(1995)運用動態學習類神經網路對多波段多極化 AIRSAR 影像進行分類，精度亦可達 95%。王志添等人(1998)曾以全偏極雷達模擬 ENVISAT-1 及 RADARSAT-2 衛星 SAR 影像，並應用於地表分類。此外全偏極雷達的 entropy 跟 Alpha angle 亦常被用在植生的分類判別，且有良好的結果(Pellizzeri, 2003)。而本研究所用嘉義熱帶地區的 POLSAR 影像也曾被用改良的模糊類神經網路法進行分類，而有不錯結果(陳家堂(2002,a),陳家堂等人(2002,b)，Chen et al. (2003))。

此外 Lee 等人(2004)，亦對 POLSAR 的相關理論及其應用，諸如 DEM 產生、監督及非監督式分類、土壤含水量估計等等，做相當完整且廣泛的回顧。由於地表分類是遙測影像的最主要應用之一，還有很多前人研究利用光學影像或雷達影像來判識地表覆蓋(Guebert, et al., (1989)；Lee, (1999)；Lee, (2001)；Olthof, (2005)；Franklin, (2001)；Kartikyan, (1998)，；Michelson, D.B., Liljeberg, (2000)；Kersten, (2005))，在此不再詳細介紹；下節將述明本研究的概念與方法。

三、研究概念與方法

3.1 概念緣起

本研究所用的 POLSAR 多波段資料包含 C、L、P Band，其中 C Band (波長約 5.6cm)，無法穿透植物樹冠，因此大部分回波為樹冠散射出。因此觀測不同植生會得到相似之結果，而 L Band (波長約 26cm)，能穿過部分樹冠，到達較內層之枝幹，故回波包括枝幹之散射及地面與枝幹之二次反射，故可以分辨不同大小與枝幹型態之植生，如草本與木本植物之不同。此外由 Imhoff (1995)實驗指出 C band 對於植生之回波在 2kg/m^2 達到飽和，L Band 在 4kg/m^2 達到飽和，而 P Band 則在 10kg/m^2 達到飽和，顯示不同波長對於植生結構之反射有個別特性，此有利於以不

同波段影像判識地表覆蓋。

Munichika 等人(1993)曾提出融合全譜態及多光譜影像，除了可以增加視覺上空間解析度外，並用以增加分類的正確率。He'gart-Masclé 等人(2000)結合光學影像 Landsat 及主動式影像 ERS 用在法國農業區的林地、小麥、豌豆、玉米、甜菜、亞麻、草地、裸露地等類別之土地覆蓋判識，在其研究中大多數類別單用 Landsat 影像分類，優於單用 ERS 分類，但偶有單以 ERS 分類得較佳結果，而結合 Landsat 與 ERS 之分類結果皆優於單以任一種影像分類之結果，即結合 Landsat 及 ERS 影像可獲致最好的地表分類結果。

因此本研究除以常用之 HIS 法融合獲得較高解析度的多光譜影像以利視覺判識外，並擬由多波段全偏極雷達得到地面物結構或組織不同的資訊，加上由 SPOT 影像獲取的葉綠素的光譜反應，及其他地物的光譜特性，使分類能夠更加正確，此研究概念之整體架構如圖 3.1 所示，結合 AIRSAR C、L、P 等波段的資料與 SPOT 的 XS1、XS2、XS3 波段資料，經過定位套合與重新取樣的處理步驟，可得到更正確的分類結果。

3.2 影像融合之方法

何謂融合？將多種來源之影像資料結合成

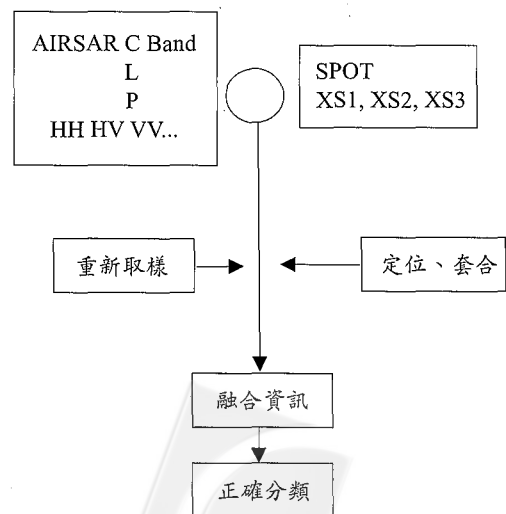


圖 3.1 融合不同來源影像增加分類資訊概念圖

一具有所需資訊之影像即稱之為影像融合。影像融合目的在於藉由各種影像截長補短，相輔相成，得到更多資訊，減少鑑識的不確定性，以提高遙測資料的可用性。

早期應用如軍事上，一般光學影像在砲管、頂罩、後車蓋等位置亮度對比低難以辨認，相對的熱感影像除坦克車本體外，其背景幾乎無法辨認；故 1989 年 Toet 等人以最大對比度做為選擇融合特徵的準則，將光學與熱感影像融合，用以增加坦克車在影像上之解析度，此為不同來源感測器影像之融合。影像融合之方法大致上可歸納為光譜或色相方面(Spectral Domain Fusion)、與空間方面(Spatial Domain Fusion)兩類(Schowengerdt, 1997)。光譜或色相方面，常用的如 HIS 轉換或主成分轉換等，其特點為多光譜影像經過轉換後將其中某一項影像分量（如亮度(Intensity)分量或第一主成分(PC1)）由高空間解析度影像取代，再逆轉換回原空間，以得到較高解析度之多光譜影像；這類方法皆須假設被取代之分量與取而代之的高解析度分量具有高度相關，否則融合後之影像將損失較多的光譜資訊。由於此融合技術早已發展完備，在許多文獻皆有詳細介紹(如 Chavez, 1991)故在此不加贅述。

而空間方面之融合方法有簡單的線性疊加法或影像相乘等方法(Cliché, 1985；Ehlers, 1991)，將較低空間解析度之影像(X_{Si})與高空間解析度之影像(Pan)的每個像元以某一比例相加，透過一定的權重，分配此二影像資訊之重要性，即可得到一幅新的影像(R_i)，因為此影像加入了較高解析度影像之空間資訊，故會有較高之空間解析度。本研究將以常用的 HIS 方法進行影像融合，以便得到較高解析度的影像。

3.3 影像分類之方法

影像分類，依選取訓練樣區與否可將分類方式分為監督式分類(supervised)與非監督式分類(unsupervised)，茲簡述如下。

3.3.1 非監督式分類

非監督分類之原理乃利用物以類聚的概念，將特徵相近的地物歸為同類；即利用各地物

其特徵、特性聚集之現象，以此特性將像元加以聚集分類，進而區分土地覆蓋的類別。亦即利用數學運算，依據統計和群集的觀念，檢查未知像元的波譜，利用群集分析分離類屬，再決定其資訊之應用，如 K-mean 等方法屬之。此類分類法可以減少監督式分類法中選取訓練樣區之時間，同時對地表實際的地物類別較不會遺漏。

3.3.2 監督式分類

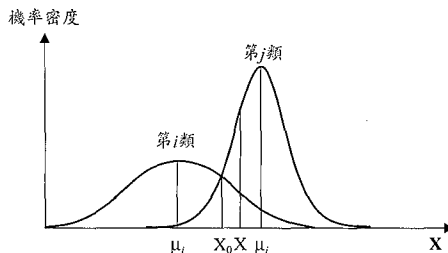
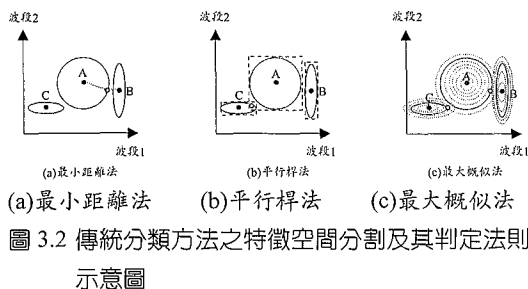
監督式分類法根據地真（如航空照片、相片基本圖等）選取訓練樣區，如最大概似法，先計算各組類的均數與共變異矩陣等統計值，再依統計值產生之機率密度函數對整幅影像之各像元進行分類。

各類別的資料點在特徵空間中，會佔有一定的群落位置；分類問題，主要工作為將不同類別之資料點在特徵空間上分離開來，目的就是在於合理有效的分割特徵空間成幾個不同區域，使之分別對應到不同的類別；監督式分類之方法與應用在很多前人之研究中皆曾經回顧整理(江介倫等人, 2002)，在此舉出幾項常見傳統的分類法如下：

(一)最小距離法，計算某點與各類群落中心之距離，若該點與某類中心距離最近，則判為此類；如圖 3.2(a)，A、B、C 三類別之樣本點於特徵空間中群聚之分佈位置如圖，此為最簡單的法則，其缺點為各類群落之範圍半徑不同，可能將某類較大群落內的點誤判為中心較近的其他類別，例如圖中 X_1 點離 B 類之中心最近，因此判為 B 類，但由圖我們可知 X_1 點實際上在 A 類之範圍內。

(二)平行桿法，如圖 3.2(b)沿訓練樣本在特徵空間中的分佈在其邊緣畫出平行線為其範圍，在此線內之點及判為該類，若特徵空間中座落於如點 X_2 的位置則會發生混淆或誤判。

(三)最大概似法，首先假設各分類特徵值之分佈為常態分佈，再由訓練樣本計算每一類的共變異矩陣(Covariance matrix)、平均值向量(mean vector)，再以式(3-1)計算第 i 類中 X 出現之機率，如圖 3.2(c)在某點 X_1 或 X_2 的機率可被計算



出，機率最大的類別即為該點所屬之類別。

$$p(X | C_i) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{d}{2}} |\Sigma_i|^{\frac{1}{2}}} \exp\left[-\frac{1}{2} (X - \mu_i)^T \Sigma_i^{-1} (X - \mu_i)\right] \quad (3-1)$$

d 為特徵數。
 Σ_i 為第 i 類的共變異數矩陣。
 Σ_i^{-1} 為 Σ_i 的反矩陣。
 $|\Sigma_i|$ 為 Σ_i 的行列式值。
 μ_i 為第 i 類的平均值向量。
 $(x - \mu_i)^T$ 為 $(x - \mu_i)$ 的轉置矩陣。
 X 為某樣本以特徵表示，為 d 維矩陣。
 $P(X|C_i)$ 為某 X 由第 i 類而來的機率。
 S_{ij} 第 i 類與第 j 類的共變異數。

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_d \end{bmatrix} \quad \mu_i = \begin{bmatrix} \mu_{1i} \\ \mu_{2i} \\ \vdots \\ \mu_{di} \end{bmatrix}$$

$$\Sigma_i = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & \cdots & S_{1d} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & \cdots & S_{2d} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} & \cdots & S_{3d} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{d1} & S_{d2} & S_{d3} & \cdots & S_{dd} \end{bmatrix}$$

在分類時，比較出某樣本 X 在哪一類別中的機率密度函數值最大，即可判視該樣本為那一類，最大概似法分類之 1 決策如式(3-2)所示。圖 3.3 為最大概似法判別說明圖，該圖以一個一維

兩個類別之例子說明判別 X 該屬於第 i 類抑或第 j 類的規則。若 $X > X_0$ 時， $p(X|C_j) > p(X|C_i)$ ，則將 X 分類成第 j 類。而若 $X < X_0$ 時， $p(X|C_i) > p(X|C_j)$ ，則將 X 分類成第 i 類。而如果 $X = X_0$ 時， $p(X|C_i) = p(X|C_j)$ ，則將 X 分類成第 i 類及第 j 類的機率相等。

$$X \in C_m, m \in \{1, 2, \dots, k\}$$

$$\text{if } P[X|C_m] = \max\{P[X|C_j], j = 1, 2, \dots, k\} \quad (3.2)$$

由上述可知分類問題主要在於如何於特徵空間中合理有效的將各類分離，也就是如何劃分特徵空間。而在傳統的應用上，最大概似法是較常用的分類方法，並且有不錯的分類正確率，因此本研究以傳統常用的最大概似法(Maximum likelihood classification)進行研究區之地物覆蓋分類。

3.3.3 分類特徵選取

本研究採用 SPOT 影像及 POLSAR 影像，其中光學影像之選用特徵有三，即 SPOT 的 XS1、XS2、XS3 等三特徵。

POLSAR 影像方面，因雷達天線發射雷達波並接收回波的資料是以散射矩陣的格式儲存。電場的傳送與接收分別以 E^i 、 E^r 表示，可表示如下式

$$E^S = \frac{e^{ikR_1}}{4\pi R_1} \frac{e^{ikR_2}}{4\pi R_2} SE^i \quad (3-3)$$

其中 R_1 為發射天線與散射體之距離， R_2 為散射體與觀測點之距離， ikR_1 、 ikR_2 分別表示電磁波的相位， $\frac{1}{4\pi R_1}$ 、 $\frac{1}{4\pi R_2}$ 分別表示圓形波在空間傳

播的能量範圍。

$$S = \begin{bmatrix} S_{vv} & S_{vh} \\ S_{hv} & S_{hh} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3-4)$$

其中 S 稱為散射矩陣, S_{ij} 表示發射為 j 極化並接收 i 極化, 散射矩陣包括四種線性極化(HH、HV、VH、VV)複數散射資訊、振幅及相位資訊。

故 POLSAR 的選用特徵為 C、L、P Band 的 $S_{hh} S_{hh}^*$ 、 $S_{hv} S_{hv}^*$ 、 $S_{vv} S_{vv}^*$ (此三項僅有實部)3 項, 以及 $S_{hh} S_{hv}^*$ 、 $S_{hh} S_{vv}^*$ 、 $S_{hv} S_{vv}^*$ 的實部與虛部 6 項, 而 C、L、P 三個 Bands 總計共 27 項特徵, 其中*表示共軛複數。)

四、研究區域及影像資料處理

本研究採用美國 NASA/JPL PACRIM-II Jet Propulsion Laboratory 於 2000 年 9 月 27 日獲取的 Airborne SAR (AIRSAR) 影像(Pixel size 10m ;

3.3m (slant range)×9.3m (azimuth)), 而空載全偏極雷達之影像計有 C、L、P 等不同波段, 將其 HH、HV、VV 偏極套合 RGB 之假色影像(HH: horizontal transmitting and receiving; HV: horizontal transmitting and vertical receiving; VV: vertical transmitting and receiving), 分別如圖 4.1、圖 4.2、圖 4.3 所示, 而此影像資料中 P 波段之雜訊較嚴重, 影像品質較差係由於射頻干擾(無線電干擾)(Radio Frequency Interference, RFI)的關係, 故較不適合當作分類之特徵, 而 C、L 波段影像的品質較佳。本研究應用此多波段全偏極合成孔徑雷達之影像, 而研究區域為嘉義熬鼓農場附近, 主要地表覆蓋有水稻、蔗田、海水、魚塭、建物等。另一幅 2000 年嘉義熬鼓地區之 SPOT 衛星之假色影像如圖 4.4 所示,(解析度 20m)也在本研究中配合使用。

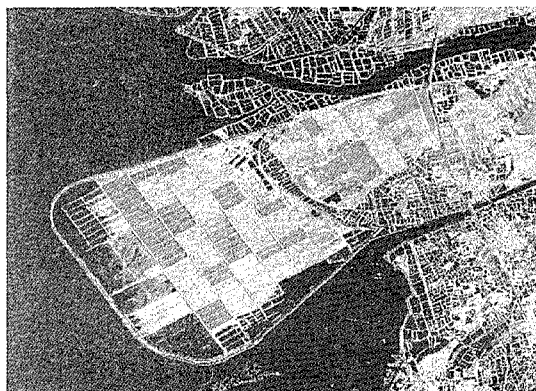


圖 4.1 SAR C Band (R:HH G:HV B:VV)

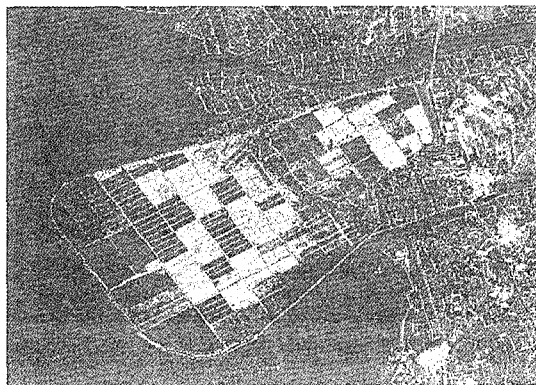


圖 4.2 SAR L Band (R:HH G:HV B:VV)

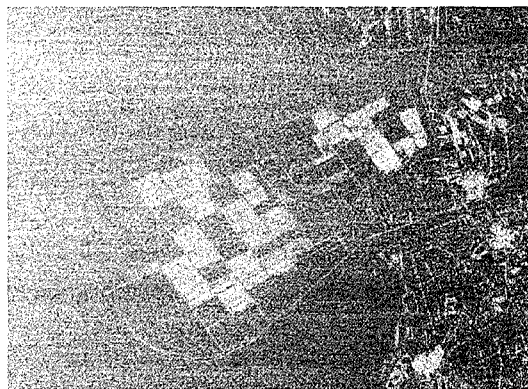


圖 4.3 SAR P Band (R:HH G:HV B:VV)



圖 4.4 2000 年嘉義熬鼓地區之 SPOT 假色影像(已定位重新取樣)

由於此二種影像(POLSAR 及 SPOT)一為合成孔徑雷達影像，一為光學影像，為不同感測器所拍攝，解析度及方向皆不相同，因此相對應之位置就顯得格外重要。故需先將兩影像套合(Registration)並重新取樣(Resample)；本研究在座標套合時採用 Cheng 等人(2000)所提出的空間推估方法，先以一階多項式(如式 4-1、式 4-2)為初期轉換來模擬空間趨勢，表現影像平移、旋轉、尺度大小的系統性影像畸變。將消滅空間趨勢後的水平方向和垂直方向殘餘值分別視為兩個符合定常性的隨機變域，運用一般克利金法進行空間推估，且採取非等向性結構分析，以改善影像校正誤差、降低誤差變異數。以區域化變數理論的觀點，表示非等向性的空間結構能夠描述空間上不同方向隨機變異的影像畸變。再重新取樣成相同像元大小，之後再進行後續的分類工作。而重新取樣時採用最近臨域法，重新取樣後之 SPOT 影像如圖 4.4 所示，其座標與像元大小已與圖 4.1、圖 4.2、圖 4.3 之空載全偏極雷達影像相同。

$$\hat{X} = 1.3675Cloum + 0.8117Line - 113.196 \quad (4-1)$$

$$\hat{Y} = 0.6933Cloum - 1.1653Line + 388.817 \quad (4-2)$$

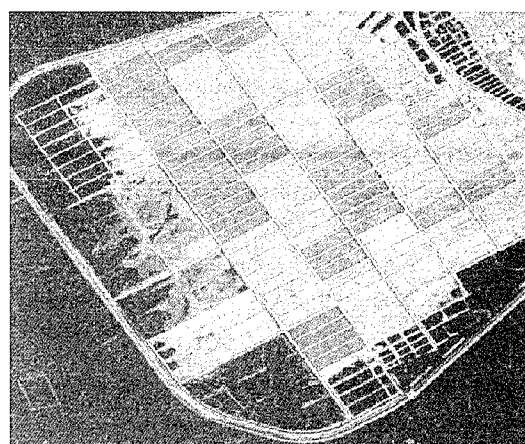
又因各影像 DN 之差異頗大，為避免尺度上之不良效應，將各影像資料標準化如式(4-3)。

$$X = (X - \text{mean}) / \text{Standard Deviation} \dots \dots \dots (4-3)$$

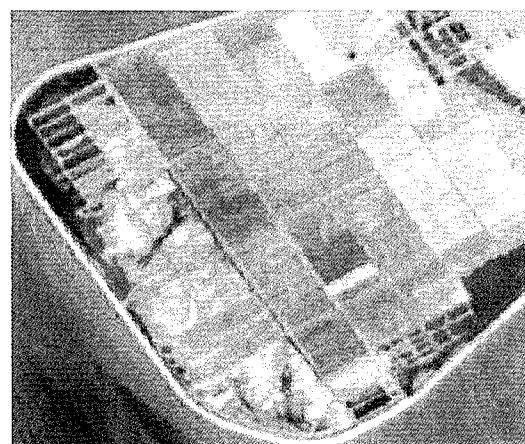
五、資料分析

本研究以常用且簡便的 HIS 法進行影像融合，結果如圖 5.1 的(a)(b)(c)，比較融合前後之影像，可以看出影像融合後，可結合不同影像之優點產生比較高解析度的新影像，融合後之彩色影像，視覺上不僅具有較高之解析度，且 SAR 影像之雜訊影響亦被抑制，使影像細節部分更佳清晰，例如田埂及海上蚵架等部分都可以清楚呈現。

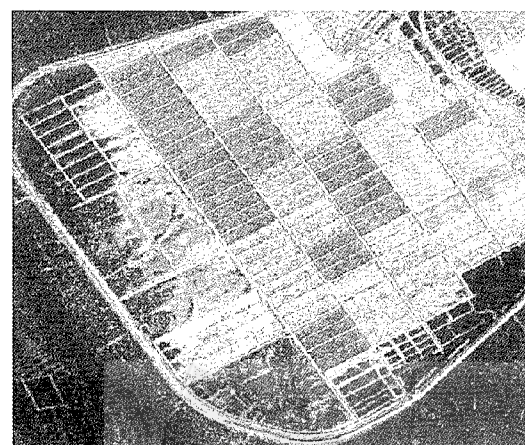
本研究在分類時，為比較有無融合 SPOT 與 POLSAR 影像的分類結果差異，嘗試採用不同特徵數目、不同組合為特徵比較分析；為節省篇幅



(a) C Band (R: HH G:HV B: VV)



(b) SPOT (R: XS3 G:XS2 B: XS1)



(c) 融合後影像(C Band HH + SPOT XS1、XS2、XS3)

圖 5.1 C Band 及 SPOT 影像與融合影像比較

表 5.1 SPOT IR-R-G 3 特徵分類結果之混淆表

真實類別 \ 分類類別	蔗田 A	蔗田 B	海	水池	草地	建物或裸露地	總體	使用者正確率%
蔗田 A	412	59	0	0	0	0	471	87.47
蔗田 B	1	654	0	0	0	0	655	99.85
海	0	0	669	0	0	0	669	100
水池	0	0	0	402	0	0	402	100
草地	0	0	0	0	236	0	236	100
建物或裸露地	0	0	0	0	8	115	123	93.5
總體	413	713	669	402	244	115	2556	
生產者正確率%	99.76	91.73	100	100	96.72	100	總體正確率%:	97.34

註：Kappa=96.65%

表 5.2 SAR C Band HH-HV-VV 3 特徵分類結果之混淆表

真實類別 \ 分類類別	蔗田 A	蔗田 B	海	水池	草地	建物或裸露地	總體	使用者正確率%
蔗田 A	216	32	0	0	92	27	367	58.86
蔗田 B	76	650	3	7	47	55	838	77.57
海	0	0	623	328	0	0	951	65.51
水池	0	0	43	67	0	0	110	60.91
草地	110	27	0	0	100	22	259	38.61
建物或裸露地	11	4	0	0	5	11	31	35.48
總體	413	713	669	402	244	115		
生產者正確率%	52.30	91.16	93.12	16.67	40.98	9.57	總體正確率%:	65.22

註：Kappa=54.89%



圖 5.2 分類結果(features: SPOT XS1, XS2, XS3 等 3 項特徵)

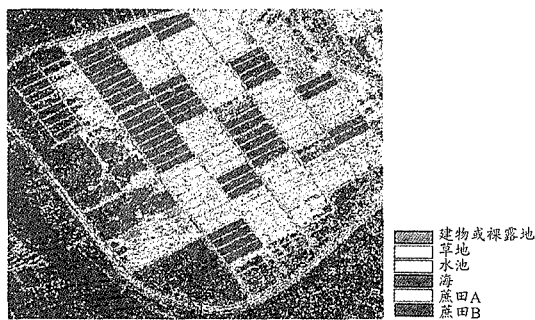


圖 5.3 分類結果(features: C Band HH、HV、VV 等 3 項特徵)

僅以下列數種案例代表說明：(將地物分為建物或裸露地、草地、水池、海、蔗田 A、蔗田 B 等六類，(註：地表調查為中央大學於 AIRSAR 拍攝時同步調查所得地真資料))

(1) 以 SPOT 影像之 XS1、XS2、XS3 等三特徵分類(結果如表 5.1 及圖 5.2)。

(2) 以 C Band HH、HV、VV 等三特徵分類(結果如表 5.2 及圖 5.3)。

(3) 以 SPOT 影像之 XS1、XS2、XS3 加 C band HH、HV、VV 等 6 特徵分類(結果如表 5.3 及圖 5.4)。

(4) 以 SPOT 影像之 XS1、XS2、XS3 加 C、L、

表 5.3 SAR C Band HH-HV-VV+ SPOT IR-R-G 6 特徵分類結果之混淆表

真實類別 分類類別	蔗田 A	蔗田 B	海	水池	草地	建物或 裸露地	總體	使用者 正確率%
蔗田 A	410	25	0	0	0	0	435	94.25
蔗田 B	3	688	0	0	0	0	691	99.57
海	0	0	668	0	0	0	668	100
水池	0	0	0	400	0	0	400	100
草地	0	0	0	0	241	0	241	100
建物或裸露地	0	0	1	2	3	115	121	95.04
總體	413	713	669	402	244	115	2556	
生產者正確率%	99.27	96.49	99.85	99.50	98.77	100	總體正確率%:	98.67

註：Kappa=98.32%

表 5.4 SAR C、L、P Band HH-HV-VV + SPOT IR-R-G 共 30 特徵分類結果之混淆表

真實類別 分類類別	蔗田 A	蔗田 B	海	水池	草地	建物或 裸露地	總體	使用者 正確率%
蔗田 A	411	42	0	0	0	0	453	90.73
蔗田 B	2	671	0	2	0	0	675	99.41
海	0	0	668	0	0	0	668	100
水池	0	0	0	400	0	0	400	100
草地	0	0	0	0	244	3	247	98.79
建物或裸露地	0	0	1	0	0	112	113	99.12
總體	413	713	669	402	244	115	2556	
生產者正確率%	99.52	94.11	99.85	99.5	100.00	97.39	總體正確率%:	98.04

註：Kappa=97.53%



圖 5.4 分類結果(feature: C Band HH、HV、VV + SPOT XS1、XS2、XS3 等 6 項特徵)

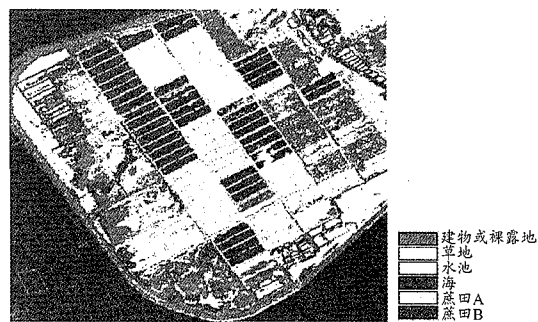


圖 5.5 分類結果(feature: POLSAR 之 C、L、P Band 共 27 項特徵 + SPOT XS1、XS2、XS3 等 3 項特徵)

P Band 各特徵，共 30 項特徵分類(結果如表 5.4 及圖 5.5)。

(註：分類時採用之特徵計有 C、L、P band 的 S_{hh}^* 、 $S_{hv}^* S_{hv}^*$ 、 $S_{vv}^* S_{vv}^*$ (此三項僅有實部) 3 項以及 $S_{hh}^* S_{hv}^*$ 、 $S_{hh}^* S_{vv}^*$ 、 $S_{hv}^* S_{vv}^*$ 的實部與虛部 6 項，C、

L、P 三個 Bands 共 27 項特徵，其中*表示共軛複數。)

由 Case(1)可知(如表 5.1)，用 SPOT 三光譜特徵分類結果，雖然總體正確率高達 97.34%，

Kappa 值也很高(96.65%)，但是細節部分較不清晰，且其中蔗田 B 與草地二項之正確率分別為 91.73%、96.72% 均略低於整體正確率(97.34%)。而 Case(2)即使經過濾波後，SAR 影像仍具較高之雜訊而導致分類結果有很多細碎之點，且因 C Band SAR 影像應屬於複數高斯模式，而本研究將其實部與虛部拆開分別當作最大概似法(高斯)之分類特徵，由於其分佈較不符合高斯常態分佈，故會得到較低的正確率(65.22%)與 Kappa 值(如表 5.2)，尤其是 Kappa 值僅 54.89%，且其中草地正確率僅 40.98%，水池正確率僅 16.67%，建物或裸露地正確率更僅達 9.57%；因此需結合光學 SPOT 影像與主動式影像以提高分類精度；如 Case(3)結合此二特性之影像後，分類結果整體分類正確率可高達 98.67%，而 Kappa 亦高達 98.32%(如表 5.3 所示)，其中草地、水池、建物或裸露地正確率分別為 98.77%、99.50%、100%皆遠高於僅用 SAR 影像的分類正確率(40.98%、16.67%、9.57%)，也略高於僅用 SPOT 三光譜特徵之分類結果，且很多細節部分清晰可見，比較分類結果圖 5.2 與圖 5.4 中水池邊緣結構物及海上之蚵架可知結合此二者之效益。而與單用 SPOT 影像比較除了更多細節部分的呈現外，僅用 SPOT 三光譜特徵時分類結果低於整體正確率的蔗田 B (91.73%)與草地(96.72%)二類別，分類結果也有明顯改善，分別提高到 96.49%與 98.77%。另外如 Case(4)採用較多特徵時亦有類似結果，但過多的特徵導入，可能因雜訊導入，反而使分類精度較僅用 SPOT 與 SAR C Band 6 特徵時低，由分類結果(表 5.4 及圖 5.5)；由以上可知結合光學影像與雷達影像可比僅用 POLSAR 影像或僅用 SPOT 影像得到更好的分類結果，惟特徵的選用，並非越多越好，宜選用較佳的組合。

由以上結果可知在 SPOT 影像加入 SAR 影像後雖總體精度及部分細節的可辨識率提高，但由混淆表中可看出部分類別有微幅降低，因此考慮以多階段分類適度加入有用資訊，避免加入特徵後少數類別精度反而稍有降低之現象。在本研

表 5.5 第一階段 SPOT XS1、XS2、XS3 3 特徵分 3 類結果之混淆表

真實類別 分類類別	植生	水體	建物或 裸露地	總體	使用者 正確率 %
植生	1362	0	0	1362	100.00
水體	0	1071	0	1071	100.00
建物或裸 露地	8	0	115	123	93.50
總體	1370	1071	115	2556	
生產者 正確率%	99.42	100.00	100.00	總體正 確率%:	99.69

註：Kappa=99.42%

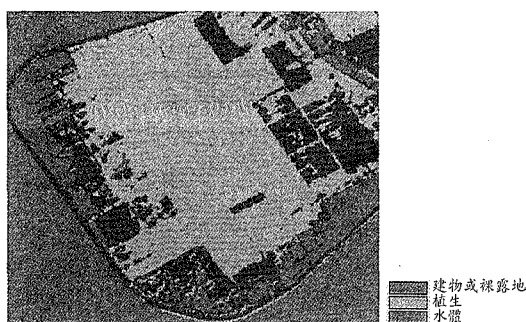


圖 5.6 第一階段分類結果(SPOT XS1、XS2、XS3 等 3 項特徵)

究中第一階段首先以 SPOT XS1、XS2、XS3 等三光譜特徵將地表覆蓋分為植生、水體、建物或裸露地等三大類，此三大類從光譜特徵分類可得不錯結果，如表 5.5 及圖 5.6 所示，總體正確率為 99.69%。第二階段時加入 SAR 影像再分別對植生細分為蔗田 A、蔗田 B、草地等三細項，水體中再分為水池與海兩細項。其中所加入之 SAR 特徵，經不同嘗試以加入 L Band 及 P band 之 HH 較佳，即以 SPOT XS1、XS2、XS3、L Band 及 P Band HH 等五特徵對於本研究之案例有較佳結果，多階段分類結果如表 5.6 及圖 5.7 所示，植生等易混淆類別分類精度均有提升，總體精度達 99.30%。正確率較低的蔗田 B 亦可達 97.62%，分別高於僅以 SPOT 三特徵分為六類的 97.34%、91.73%。

表 5.6 二階段 SPOT XS1、XS2、XS3、L Band HH、P Band HH 共 5 特徵分類結果之混淆表

真實類別 \ 分類類別	蔗田 A	蔗田 B	海	水池	草地	建物或 裸露地	總體	使用者 正確率%
蔗田 A	412	17	0	0	0	0	429	96.02
蔗田 B	1	696	0	0	0	0	697	99.86
海	0	0	669	0	0	0	669	100.00
水池	0	0	0	402	0	0	402	100.00
草地	0	0	0	0	244	0	244	100.00
建物或裸露地	0	0	0	0	0	115	115	100.00
總體	413	713	669	402	244	115	2556	
生產者正確率%	99.76	97.62	100.00	100.00	100.00	100.00	總體正確率%:	99.30

註：Kappa=99.11%

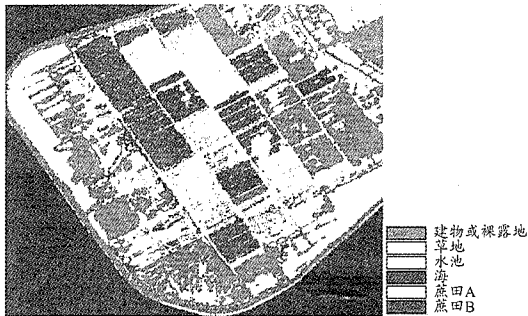


圖 5.7 二階段分類結果(於第二階段時加入 POLSAR 之 L Band HH 與 P Band HH 兩項特徵)

六、結果討論

雷達為一種主動式遙感探測器，發射微波並接收由地物散射回波功率而成像，由於散射以及地表覆蓋物結構排列或組織的不同，有時同類地物會呈現不同的色調或紋理，而增加分類的困難。又因 SAR 影像的地形效應影響較嚴重，在山區之 SAR 影像之資料品質較低，會降低分類之精度，如 P Band SAR 影像由於射頻干擾(RFI)的關係，較不適合當作分類之特徵。

此外雷達影像之斑駁效應會嚴重影響分類精度，若未做處理即進行分類程序，其分類結果將不理想。而若經過濾波處理，斑駁效應減低，雖然可以提高分類精度，但卻會損失一些資訊，使得線性地物產生不連續或模糊的現象，同時也降低了影像的解析度。

因 C Band SAR 影像較不符合高斯常態分佈

(應屬於複數高斯模式)，故以最大概似法(高斯)分類時，會得到較低的正確率，但以融合方式加入資訊仍可使分類正確率提高。本研究已嘗試不同特徵數目、不同組合為特徵，其中包含兩類影像之組合其結果差異均不大，總體精度差異小於 1%，因此結合兩種不同來源影像之分類僅 Case(3)與 Case(4)兩例說明，其他結果則不贅述；由結果可知選用特徵並非越多越好，太多的資料加入反而有可能降低重要特徵的權重，且可能導入雜訊而影響精度，如本研究中以 30 項特徵全選用之分類精度即略低於選用 6 項特徵之分類精度。為避免 SPOT 加入 SAR 特徵資訊時，少數類別正確率反而稍有降低現象，本研究以多階段分類適度加入有用資訊，可避免加入雜訊，將蔗田 A、蔗田 B、草地等易混淆類別之分類精度再提高。

本研究分類結果顯示單以 POLSAR 或單以 SPOT 的 XS1、XS2、XS3 三波段所得到的分類結果均較結合此兩種影像所得的結果差，尤其單以 SAR 影像分類時，由於雜訊太高及類別間混淆，導致分類正確率偏低。結合主動與被動式兩類影像分類與單以 SAR 資料分類比較，精度有大幅提昇，而以結合兩類影像分類與單用 SPOT 資料分類比較，精度提升較少，係因 SPOT 影像中此類別混淆程度原本就較低，較易區分，故加入後對原本已高的分類精度改善較不明顯，甚至部分類別有微幅降低，此缺點可以多階段分類適度加入有用資訊，避免加入特徵後少數類別精度

反而稍有降低之現象。結合雷達與光學影像進行分類，不僅分類正確率較佳，且分類後之圖像更能顯現出較多無法單由 SPOT 影像分類判得或單由 SAR 影像分類判得的細節地徵例如蚵架及水池池岸結構物(僅以 SPOT 影像為特徵時，分類結果如圖 5.2，上述地徵無法由最大概似法判識；結合 SPOT 與 SAR 影像時，分類結果如圖 5.4 與圖 5.7 上述地徵可由最大概似法判識得)，如此對於環境監測將有大力幫助，由以上結果可知，結合雷達與光學影像確實能夠獲取較多的地面資訊，有助於地徵的判識及提高分類之正確率。

七、結 論

本研究融合了主動式與被動式影像，並以多階段分類為之，由於結合了 SPOT 影像光譜資訊與 POLSAR 影像對地面粗糙度的感測，故不僅在視覺上的融合可以得到彩色且更多空間細節的較高品質影像，且在分類時亦可得到很好的結果，故結合不同感測器的影像，以多階段分類可適時增加所需資訊、截長補短，確實能夠提高分類之正確率，使遙測技術之應用更能顯現其功效。

參考文獻

1. 王志添、陳家堂、張芮榛、梅素華、陳錕山 (1998)，「利用空載全偏極 SAR 資料模擬 ENVISAT-1 及 RADARSAT-2 衛星 SAR 影像於地表分類之應用」，第十九屆測量學術及應用研討會論文集，pp. 497-501。
2. 江介倫、鄭克聲(2004)，「指標克利金空間推估應用於衛星遙測影像分類」，航測及遙測學刊，第九卷，第二期。
3. 陳家堂(2002,a)，「全偏極合成孔徑雷達於目標分類之研究」，中央大學太空科學研究所博士論文。
4. 陳家堂、陳錕山(2002,b)，「全偏極合成孔徑雷達於地表分類之研究」，第二十一屆測量學術及應用研討會論文集，pp.419-426。
5. Chavez, P. S., Jr. Stuart, C., (1991), "Comparison of Three Different Methods to Merge Multiresolution and Multispectral Data: Landsat TM and SPOT Panchromatic", PE&RS, 57(3).
6. Cheng, K.S., Yeh, H.C., Tsai, C.H. (2000), "An anisotropic spatial modeling approach for remote sensing image rectification", Remote Sensing of Environment, 73(1), 46-54.
7. Cliché, G., Bonn, F. and Teillet, P., (1985), "Integration of the SPOT panchromatic channel into its multispectral mode for image sharpness enhancement", PE&RS, 51(3), pp 311-316.
8. Chen, K. S., Y.C. Tzeng, C. F. Chen, and W.L. Kao, (1995), "Land-cover classification of multispectral imagery using a dynamic learning neural network," PE&RS, 61(4), pp. 403-408.
9. Chen, Chia-Tang, Kun-Shan Chen, and Jong-Sen Lee (2003), "The Use of Fully Polarimetric Information for the Fuzzy Neural Classification of SAR Images", IEEE Trans. on Geo. and Remote Sensing, 41,(9).
10. Ehlers, M., (1991), "Multisensor image fusion techniques in remote sensing", Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 46, pp. 19-30.
11. Franklin, S.E., Stenhouse, G.B., Hansen, M.J., et al., (2001), "An Integrated Decision Tree Approach (IDTA) to mapping landcover using satellite remote sensing in support of grizzly bear habitat analysis in the Alberta yellowhead ecosystem", Canadian Journal of Remote Sensing 27 (6), pp. 579-592.
12. Guebert, M. D., Gardner, T. W., (1989), "Unsupervised SPOT classification and infiltration rates on surface mined watersheds, central Pennsylvania", PE&RS 55 (10), pp. 1479-1486.
13. Guo, Huadong, (2001), "radar remote sensing applications in China", Taylor & Francis.
14. He'garat-Mascle, S. Le et al. (2000), "Land

- cover discrimination from multitemporal ERS and Multispectral Landsat images: a study case in an agricultural area in France", *Int. J. Remote Sensing*, 21(3), pp.435-456.
15. Imhoff M.L., (1995), "A theoretical-analysis of the effect of forest structure on synthetic-aperture radar backscatter and the remote-sensing of biomass", *IEEE Trans. on Geo. and Remote Sensing*, 33 (2): 341-352.
 16. Kartikeyan, B., Sarkar, A., Majumder, K.L., (1998), "A segmentation approach to classification of remote sensing imagery", *Int. J. Remote Sensing* 19 (9), pp. 1695-1709.
 17. Kersten, P.R., Lee, J.S., Ainsworth, T.L., (2005), "Unsupervised classification of polarimetric synthetic aperture radar images using fuzzy clustering and EM clustering", *IEEE Trans. on Geo. and Remote Sensing*, 43(3), pp.519-527.
 18. Lee, J. S. et al., (2004), "A review of Polarimetric SAR algorithms and their applications", *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Taiwan, ROC.
 19. Lee, J. S., Grunes, M. R., Ainsworth, T. L., Du, L. J., Schuler, D. L. and Cloude, S. R., (1999), "Unsupervised Classification Using Polarimetric Decomposition and the Complex Wishart Classifier, *IEEE Trans. on Geo. and Remote Sensing*, 37(5), pp. 2249-2258.
 20. Lee, J. S., Grunes, M. R. and E. Pottier, (2001) "Quantitative comparison of classification capability: fully Polarimetric versus Dual and single-polarization SAR", *IEEE Trans. on Geo. and Remote Sensing*, 39(11), pp. 2343-2351.
 21. Michelson, D. B., Liljeberg, B. M., Pilesjo, P., (2000), "Comparison of algorithms for classifying Swedish landcover using Landsat TM and ERS-1 SAR data", *Remote Sensing of Environment*, 71 (1), pp.1-15.
 22. Munechika, C. K. et al., (1993) "resolution enhancement of multispectral image data to improve classification accuracy", *PE & RS*, 59(1), pp. 67-72.
 23. Olthof, I., Butson, C., Fraser, R., (2005), "Signature extension through space for northern landcover classification: A comparison of radiometric correction methods", *Remote Sensing of Environment*, 95 (3), pp. 290-302.
 24. Pellizzeri, T. M. (2003), "Classification of polarimetric SAR images of suburban areas using joint annealed segmentation and "H/A/ α " polarimetric decomposition", *Photogrammetry & Remote Sensing* Vol. 58.
 25. Pierce, E., Ulaby, T., Sarabandi, K. and Dobson, C. (1994), "Knowledge-Based Classification of Polarimetric SAR Images", *IEEE Trans. On Geo. And Remote Sensing*, 32(5), pp. 1081-1086.
 26. Schowengerdt, Robert A. (1997), *Remote Sensing Models and Methods for Image Processing*, Academic press.
 27. Rouse, J.W., Haas, R. H., Schell, J. A., and Deering, D. W., (1973), "Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, *Proceedings, 3rd ERTS Symposium*", Vol. 1, pp. 48-62.
 28. Toet, A., L. J. van Ruyven and J. M. Valetton (1989), "Merging thermal and visual images by a contrast pyramid", *Optical Engineering* 28(7), 789-792.
 29. Van Zyl, J.J., (1989) "unsupervised classification of scattering mechanisms using radar polarimetry data", *IEEE Trans. on Geo. and Remote Sensing*, 27(1), pp. 36-45.

收稿日期：民國 94 年 8 月 11 日
 修正日期：民國 94 年 11 月 21 日
 接受日期：民國 94 年 11 月 25 日