

以多時期與PCA+NDVI法改善地物分類之正確性與完整性 Using Multi-temporal and PCA + NDVI to Improve the Accuracy and Integrity of Land Cover Classification

張國楨^a

田應平^b

施孝謙^c

Kuo-chen Chang

Ying-Ping Tian

Hsiao-Chien Shih

Abstract

Satellite image analysis is one of the main methods of monitoring of environmental changes. The accuracy and credibility of the results depend on the spectral resolution of the imagery used and the spectral separability between features being monitored. If original imagery from single period is used to perform classification, the results are often affected by the noise of imagery itself and spectral similarity between different features. In this research, we proposed an improved solution for change detection that combines a Principle Component Analysis (PCA) process to remove noise and a multi-temporal process to increase spectral resolution. The study area is located on Shezi Island with imageries from 2005, 2006, 2007. The original imageries were processed with PCA to retain the first two major components which account for over 95% of total explanation. The resulting imageries were inverted by IPCA process back to 4 bands imageries. NDVI was calculated for each time period and stacked with IPCA imageries to create a new multi-temporal imagery for further unsupervised classification. The experimental results showed that the PCA process does enhance the spectral characteristic of features being monitored. An unsupervised classification process was applied to the multi-temporal imagery. The result was compared to that from 2007 and showed a significant improvement in both accuracy and completeness of the land cover classification.

Key words : Land Cover Classification、Multi-temporal Imagery、PCA、Unsupervised Classification、Completeness

^a 國立台灣師範大學地理學系副教授

^b 國立台灣師範大學地理學系研究生

^c 國立台灣師範大學地理學系研究生

摘要

衛星影像分析是環境變遷監測的主要方法之一。結果的精確度與可信度深受所用影像的光譜解析度與地物光譜分辨率影響。以單一時期之原始影像進行分類，常因光譜雜訊與地物間光譜混淆情況而影響分類正確性。本研究以主成分分析(PCA) 去除原始影像雜訊，整合多時期影像增加影像光譜解析度以及地物間的辨別率來提升分類正確性。實驗區為社子島地區 2005、2006、2007 年多時期 R、G、B、IR 影像，先行以 PCA 萃取出可解釋量總和>95%之兩主成分，並進一步轉置回 R、G、B、IR 影像，再加上各時期 NDVI 進行地物分類。實驗結果顯示，經過 PCA 處理，可增揚地物本身光譜特性。研究以多時期處理後之影像進行非監督式分類，顯示與單時期 2007 分類影像相比，本研究採用方法在改善地物分類之正確性及完整性上具有較佳效果。

關鍵詞：地物分類、多時期影像、PCA、非監督式分類、完整性

前言

目前對於都市地物的監測，大多採用人工現地調查，或是人工判釋航照、衛星影像的方式來進行，但成果精度掌握不易且不甚客觀。如採自動化分類的方式，則會因相鄰地物像元的反射光強度彼此近鄰散射效應的影響，在邊緣區之地物像元會產生模稜(Ambiguity) (羅俊宏，2004)。此種效應可視為影像中出現之微弱雜訊，往往會影響地物分類的正確性。此外在單一時期影像中，如果不同植生的波譜反射值近似，則無法在分類資訊中清楚區分不同類別。

Lunetta(1998)、郭麟霖(2000)、周明中(2005)表示將主軸轉換法(Principle Component Analysis, PCA)對原始影像進行主成分擷取，可有效消除影像不必要雜訊，加強地物主要光譜特性，提升分類精度。

蕭國鑫(1998)、Wolter et. al. (1995)、Dechka et. al. (2002)、Townsend et. al. (2001)、曾露儀(2008)也表明結合多時段影像可輔助單一時期影像資訊之不足。在影像分類判釋中，不同地物表現的土地覆蓋隨著生長期而改變，且各種地物的生長週期會有所差異；因此，利用上述特性，若能有效掌握各地區地表覆蓋變化，配合光譜反射資訊而以多時影像的輔助加以判釋分類，對準確度的提昇會有所幫助(Dechka, 2002；曾露儀，2008)。

因此，本研究使用 PCA 法並結合多時期之 FORMOSAT-2 台北溪州地區之影像，進行監督式分類，來評估經 PCA+MTI+NDVI(Principle Component Analysis + multitemporal images + Normalised Difference Vegetation Index)之分類，是否較優於原始單幅影像之地物分類。

材料與方法

(一)研究區選擇與資料處理

1.研究區環境資訊

研究區位於台北市士林區，處於淡水河與基隆河匯流交接地帶，地處於 TWD97 座標東西 296433~302027M，南北 2775043~2778979M。研究區面積約 3 平方公里，地勢低緩，高度界於 1~2

公尺。該區地物類別主要為農地與人工建物，次為本區四周沿河岸之人工闊葉林與草地、溼地、紅樹林。

2. 資料處理

影像資料取自 NTNUIADC 所產製 2 公尺正射融合影像，分別為 2005、2006、2007 年多時期 R、G、B、IR 影像，經過大氣輻射校正、幾何校正、正射校正等前處理程序。

本研究之資料來源主要來自於福衛二號提供之影像，包括解析度 2 公尺的全色態影像，光譜範圍為 $0.52\sim 0.82\ \mu\text{m}$ ，以及解析度 8 公尺的多光譜影像，R 範圍 $0.63\sim 0.69\ \mu\text{m}$ 、G 範圍 $0.52\sim 0.60\ \mu\text{m}$ 、B 範圍 $0.45\sim 0.52\ \mu\text{m}$ 、IR 範圍 $0.76\sim 0.90\ \mu\text{m}$ ，將解析度 8 公尺的彩色影像及解析度 2 公尺的黑白影像以影像融合的方式得出高解析度的彩色 2 公尺影像。

進行遙測影像之變遷偵測時必須先針對多時期影像進行輻射校正。在本研究中所使用之輻射校正方法主要是沿用 Du et. al., (2002)所提出之相對輻射校正方法，以未變遷之影像像元建立兩時期影像之轉換關係。

3. 地真檢核資料

為比對影像分類結果的完整性，地真資料取自 GOOGLE EARTH 之影像判釋所得地物，分別選取較不易改變之的地物，如學校操場草地、樹林、建物屋頂與道路及 2005~2007 年既有未改變之檢核點。

(二) 研究方法

1. 研究流程

本文研究流程入下圖 1 所示。研究利用溪州地區 2005、2006、2007 年多時期 R、G、B、IR 影像，先以相對輻射校正方法(Du et. al., 2002)對這三時期影像進行輻射校正。以 PCA 轉換萃取出

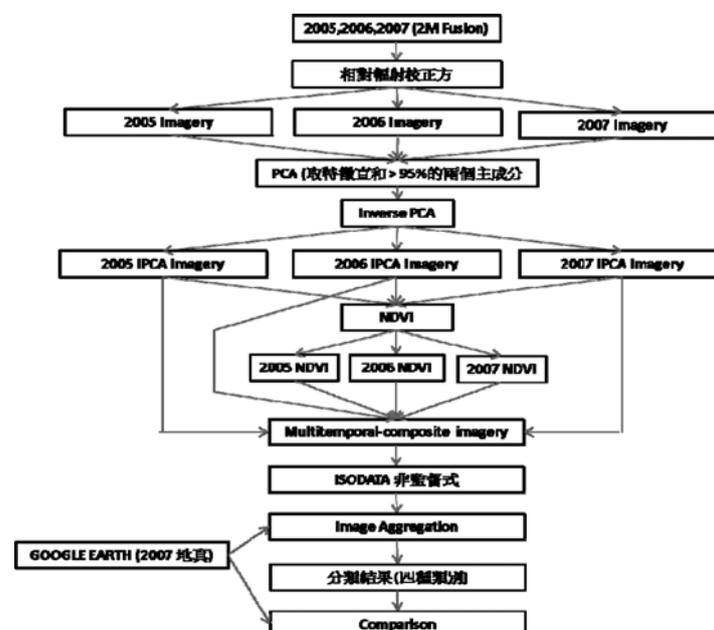


圖 1 PCA+MTI 研究流程圖

特徵值總和>95%之兩主成分，並進一步以 Inverse PCA(IPCA)轉置回 R、G、B、IR 影像。計算三時期 NDVI 影像。最後將三個時期的 IPCA 影像與三個時期組合成一張共有 15 個光譜地影像進行非監督式分類，並根據 GOOGLE EARTH 上的地真檢核資料為基礎加以後製處理分類成植生、人工建物及裸露地、水體，以及背景值四種類別加以整合。

2.主成分分析法(PCA)

主成分分析由皮爾森(Pearson, 1901)提出，再由侯特齡(Hotelling, 1933)加以發展，是多變數統計中常使用的技術，可用來擷取資料中重要的資訊、進行資料壓縮、變遷監測、以及改善信號雜訊比(Singh and Harrison, 1985)。在數學上，假設 $X^T = [X_1, \dots, X_n]$ 為 N 個維度的隨機變數，具平均向量 M 以及共變數矩陣 C ，經主成分分析出的新變數可視為 Y_1, Y_2, \dots, Y_n ，可表示成(Singh and Harrison, 1985):

$$Y_j = a_{1j} X_1 + a_{2j} X_2 + \dots + a_{nj} X_n = a_j^T X$$

T 表示轉置矩陣之符號，而 $a_j^T X$ 為舊變數的線性組合， $[a_{1j}, \dots, a_{nj}]$ 為變數-共變數矩陣中的正規化特徵向量 [如: $a_j^T a_j = 1$]。A 可表示成在 $[N \times N]$ 的特徵向量矩陣，而 Y 可表示為 $[N \times 1]$ 主成分向量， Y 的 $[N \times N]$ 共變數矩陣， C 可表示為:

$$C = \begin{pmatrix} \lambda_1 & & & 0 \\ & \lambda_2 & & \\ & & & \\ 0 & & & \lambda_n \end{pmatrix}$$

λ_i 為矩陣 C 的特徵值，其為彼此互不相關的特徵成分，且 $\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_n$ 。

主成分分析的一些特性對遙測研究產生很大的幫助。比如說轉換後的訊息依然被保留住，均方根誤差變小，並產生彼此互不相關之係數。在幾何上，他將具高度相關的舊變數轉換到一正交的空間，而使得最大變化量可以隨組成物的大小次序依序下降計算 (Singh and Harrison, 1985)。主成分可以由共變數矩陣或者是相關矩陣而得。相關矩陣可由特徵值開根除共變數矩陣求解。在遙測研究上，研究之特徵向量矩陣可以是非標準化矩陣或標準化矩陣。因為每個光譜曾皆有相同的物理單位，所以由非標準化矩陣求解主成分是可以被解釋的(Singh and Harrison, 1985)。主成分分析法已被廣泛用來提高衛星影像的分類精度(Journaux et.al., 2006；Chen and Qian, 2008)。我們可透過對原存在相關性的波段進行正交轉換，從而產生新的變數維度，在特徵空間中這些新的主成分維度彼此之間相互獨立，訊息量向前幾個成分維度集中。我們可擷取可解釋變異量大於 95% 的幾個組成維度，轉置為原來的影像波段中(IPCA)，將主成分所萃取出的主要元素，將 PCA 之座標反轉回原座標，得出所萃取之主要元素的輻射量，從而實現對地物特徵光譜的增強(Chen and

Qian, 2008)。

3.常態化差異植生指標(Normalised Difference Vegetation Index, NDVI)

在測定綠色植物之光合作用強度、植物覆蓋率及生物量等研究中，因綠色植物有吸收藍光、紅光及強烈反射紅外光之特性，判別植生反射量之多寡，但學者研究歸納結果，使用可見光與近紅外光之比值或差值，即常態化差異植生指標(Normalised Difference Vegetation Index, NDVI)，適用於監測植生之變化。NDVI 值之計算方法如下所示：

$$NDVI = \frac{IR - R}{IR + R}$$

NDVI 為常態化差異植生指標，*IR* 為近紅外光輻射值，*R* 為紅光輻射值(即可見光部份)。此公式主要是從紅外光與紅光的比值轉換而來(即 *IR/R*)，但此公式的缺陷是在植被茂密部分，其指數會因此呈現出接近無限大之狀態，不利於電腦計算，為顧及此原因，便將公式改良如上，指出植被生長情況，植被在紅光反射量很少的因素下，對於套入上述公式，便會呈現出相較於其他地區相對高的指數，卻又能夠避免呈現出無限大的情況；NDVI 之值介於-1~1 之間，小於零的像元值，通常屬於非植生之雲層、水域、道路和建築物等像元，故指數愈大時，代表綠色生物量之增加，NDVI 為綠色植物探勘最常用之指標，蓋綠色植物生長愈旺盛，其吸收之紅光愈多，紅外光之反射愈強，故其間差異愈大之原理，以二者波段相差與和的比例而成。小於 0 的像元，通常屬於非植生之雲層、水域、道路、建物及開闢地之土壤反應的像元，我們可運用這些特性，利用 NDVI 來進一步分類森林地與草地等。

4.反覆自我組織資料分析法(ISODATA)

反覆式自我組織資料分類法(Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique, ISODATA)，為事先不需選取訓練區的分類方法，其直接以整幅影像之光譜資訊，依照所指定類別數以群聚統計方法計算影像的光譜反射值資訊，再根據所得結果將判釋的群集加以歸類，此演算法為遙測學分類上最常使用之分類方式，減少人工選取中心位置所造成之錯誤；其理論基礎為性質相同之個體，先天上具有聚集成群之趨勢，所以各數值點，必可依其固有本性歸於其應屬之類別中(劉守恆, 2002)；因此在土地利用分布型態以本身的光譜特性聚集之現象，將此特性將像元加以聚集分類，依據影像分析者所訂定的分類數(預定的集群數)，進而區分土地利用之類別。演算過程係利用數學運算，依據統計和群集之觀念，檢查一大串未知像元的波譜自然群，利用群集分析(Cluster Analysis)方式，接收使用者欲安置該數量的群集數，反覆計算，以達到最高波譜分離類屬，再決定其資訊的應用，可減少監督式分類法中圈選訓練樣區之人工時間，同時對地表實際類別較不會遺漏。

至於監督式分類，涉及於人工圈選訓練區之準確度，因此其分析結果變會因為圈選的訓練區而有所謂的 Commission Error 與 Omission Error，相較於非監督式分類純粹以數學方式分析整幅光譜資訊，監督式分類之分類結果會因人為所造成之誤差相對較大，因此本研究只採用非監督式分類。

5.地物分類之完整性(Classified Objects Completeness Index, COCI)

本文所指之地物分類之完整性一詞，為敘述經分類後的影像，內部之單一地物(如單棟建

物)其內部像元皆被歸為同類，無其他類別因模稜效應而參雜於其中。若所選取檢核地物分類後其內部像元皆被歸為同一地物類別，則稱該地物具有分類完整性，形同影像分割上形成獨立物件般，如圖 2(C)所示。為了數學描述該分類完整性，本文建立一完整性指標。指標設想必須包括所欲了解的問題、採用的定義、與其它相關的檢驗規則。指標定義如下描述：

地物完整比 (Classified Objects Completeness Index, COCI)

=內部皆為單一類別之地物數 / 檢核之地物數

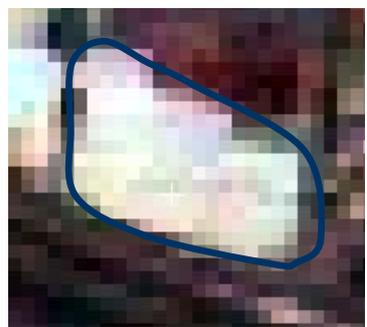
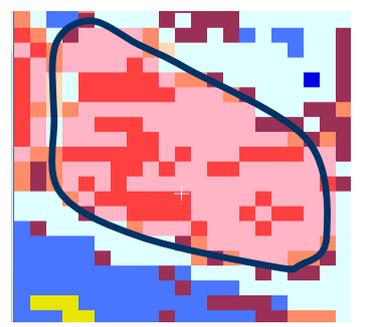
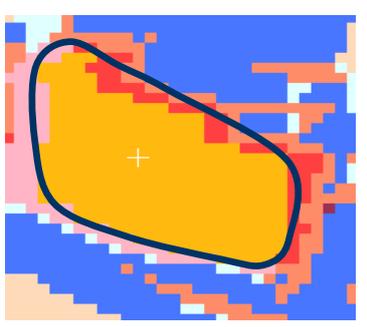
地物原始與分類影像完整性		
(A)地真建物福衛影像	(B)建物原始影像 ISODATA 分類	(C)建物 PCA+MTI+NDVI ISODATA 影像分類
		

圖 2 原始影像與 PCA+MTI+NDVI ISODATA 分類後地物內部之完整性對比

實驗及成果分析

本研究針對 2007 年溪州地區進行地物判釋，為了能提高判釋的精度故實驗分成兩部份考量；首先為了能加強影像內各別地物光譜特性，拉大類別間的差異，所以分別以 PCA 轉換與多時序影像、多時序 NDVI 影像套疊進行分類實驗。接著針對實驗結果比較影像分類的成果，及分類後是否可保留地物完整性。

(一)以 PCA 轉換與多時序影像、多時序 NDVI 影像套疊進行分類

利用 PCA 提升影像地物間分離對比，擷取可解釋量總和>95%之兩主成分特徵向量，轉換回原 R、G、B、IR 表色層並比較原始影像與 IPCA 影像。結果顯示，各年份 IPCA 影像去除像元中雜訊，因鄰近地物所造成之光暈效果在轉換後之影像大為降低，鄰近地物對比性明顯提高，如下圖 3 所示。

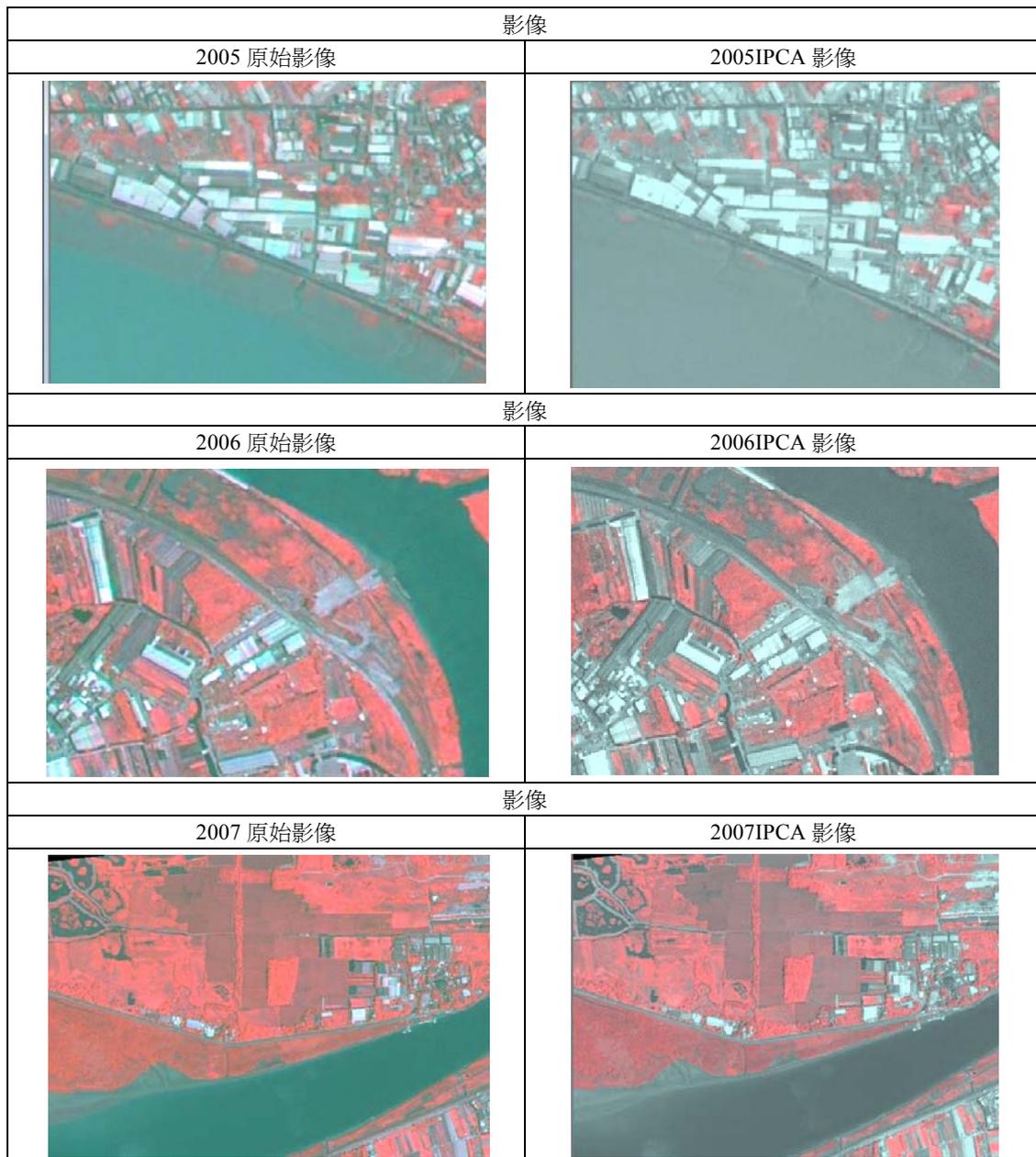


圖 3 2005、2006、2007 年原影像與 IPCA 影像對比

利用各年度 IPCA 影像進行 NDVI 圖層計算，以三年度 NDVI 提升影像地物分類精度，如圖 4 所示。

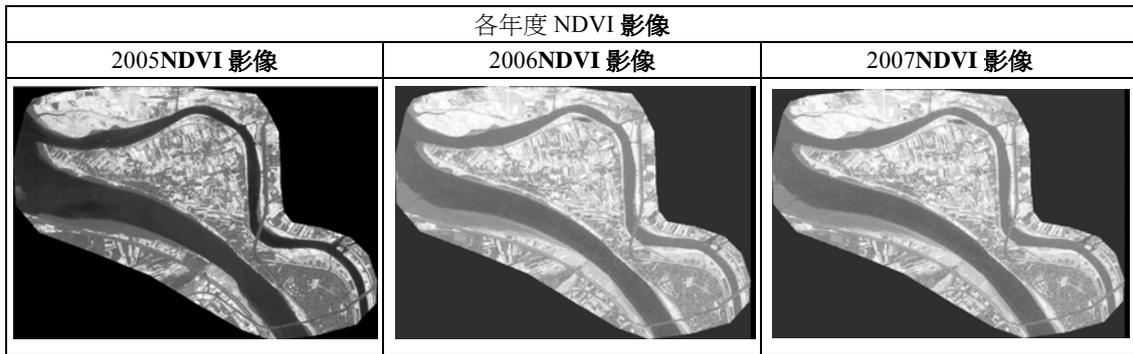


圖 4 2005、2006、2007 年 NDVI 影像

利用多時序之 IPCA 影像及 NDVI 影像 (PCA+MTI+NDVI) 進行 ISOData 非監督式分類法分類，採 15 類分類，重覆運算次數 8、疊代次數 5，將影像實驗區中的地物加以辨識，如圖 5 所示。

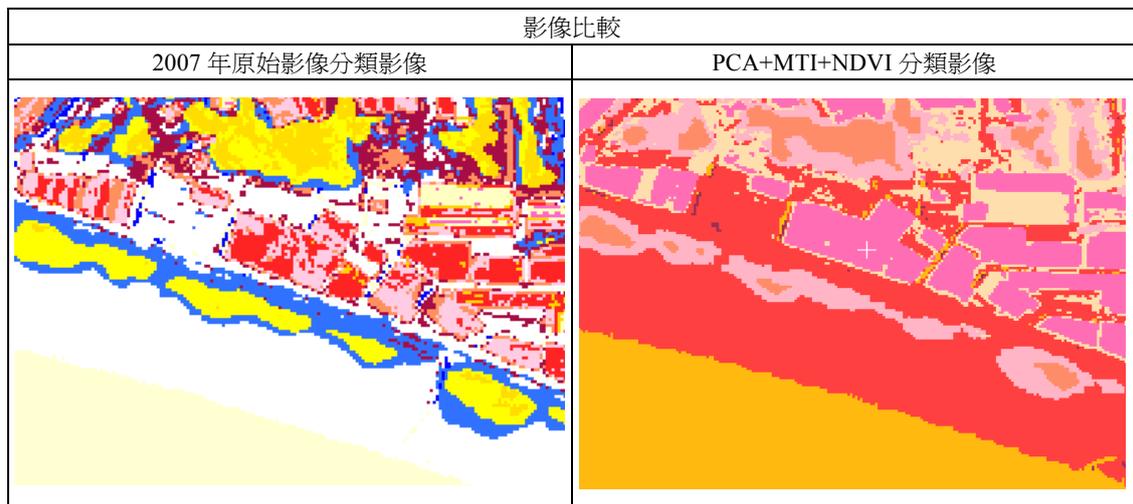


圖 5 2007 年分類影像與 PCA+MTI+NDVI 分類影像對比

將 PCA+MTI+NDVI 分類影像 15 類分類結果，根據 GOOGLE EARTH 上的地真檢核資料為基礎，並以植生、人工建物及裸露地，水體，以及背景值四種類別加以整合，與原始 2007 年分類整合影像相互對比，如圖 6 所示，並抽取 1000 個隨機點會進行正確性評估，如表 1 所示。

實驗的結果顯示，經 PCA+MTI+NDVI 流程處理後之影像去除臨近地物間的模稜效應，在區塊地物類別間較原始影像能明確的判釋出正確的地物，整體精確性由 90.900% 提升至 93.400%，各類別使用者精度皆有所提升，尤其在建物、裸露地物錯誤分類情形降低，各類別使用者經度與生產者精度如表 2。

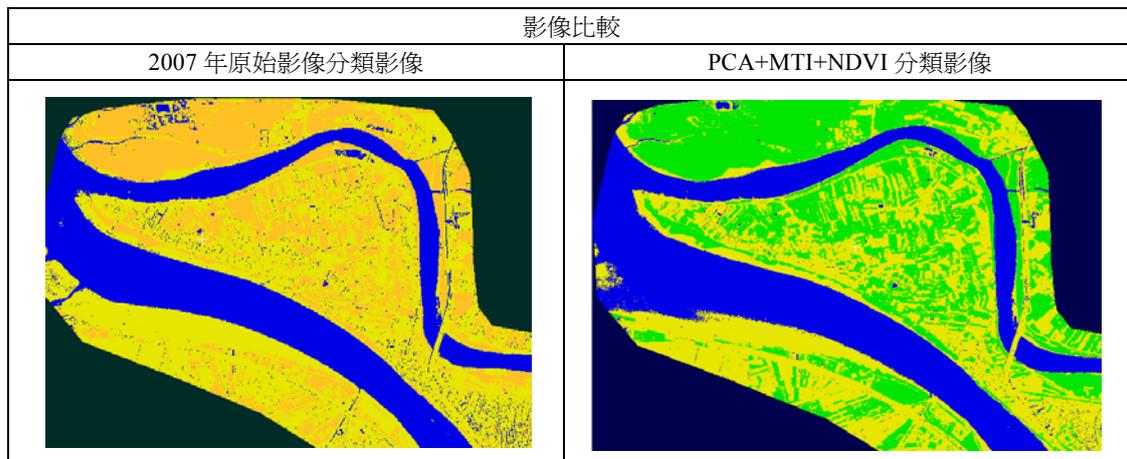


圖 6 2007 年原影像與 PCA+MTI+NDVI 影像分類對比

表 1 2007 年原影像與 PCA+MTI+NDVI 影像分類正確性統計

影像比較	Overall Accuracy	Overall Kappa Statistic:
2007 年原始影像分類影像	90.900%	0.873
PCA+MTI+NDVI 分類影像	93.400%	0.909

表 2 2007 年原影像與 PCA+MTI+NDVI 影像類別分類正確性統計

類別項	2007 年原始影像分類影像		PCA+MTI+NDVI 分類影像	
	生產者精度	使用者精度	生產者精度	使用者精度
背景值	99.732%	99.465%	99.455%	100.000%
水體	98.425%	83.893%	95.722%	91.795%
人工建物、裸露地、沙洲	91.156%	82.209%	86.194%	90.234%
植被	69.903%	82.209%	89.326%	86.413%

(二) 地物分類之完整性評估

本研究以 GOOGLE EARTH 辨認地物類別，於溪州地區隨機選取 100 個樣本點，樣本點本身具有長時期非變動特性，參考地真類別項如下表 2 所示。檢核 PCA+MTI+NDVI 流程與原始影像 ISO 分類後之地物內部完整性，結果如下表 4 所示。

所謂的分類後地物內部之完整性，即在分類後原地物(如單一建物、道路、與樹林區域)其物件內部像元可被歸類為同一類別。實驗的結果顯示，經 PCA+MTI+NDVI 流程處理後之影像去除臨近地物間的模稜效應，在小區塊地物較原始影像能明確的判釋出正確的地物與保留完整輪廓，地物內部錯誤分類情況較少發生。

表 3 地真類別項目表

類別項	個數
學校操場草地	9
建物屋頂	63
學校樹木	9
道路段	9
空地（開闊地）	10

表 4 影像比較檢核表

分類影像別	地物分類完整個數	地物分類不完整個數	地物完整比
原始影像	5	95	5%
PCA+MTI+NDVI	58	42	58%

檢核原始影像分類後地物內部完整性發現，僅 3 件建物與 1 件學校樹木別、1 件空地別保留封閉輪廓，地物維持完整比例相當低。而 PCA+MTI+NDVI 流程中學校草地保留完整者 7 件，樹木完整者 8 件，建物完整者 37 件，空地完整者 6 件，如下表 5。若單比較植生分類完整比為 83%，顯示在都市地區植物分類上以福衛二號 2 公尺解析度，在該空間尺度上 PCA+MTI+NDVI 流程可較能解析出植生完整區塊。

表 5 地物－影像完整性檢核表

類別項	原始影像	PCA+MTI+NDVI
學校操場草地	0	7
建物屋頂	3	37
學校樹木	1	8
道路段	0	0
空地（開闊地）	1	6

結論與後續工作

以都市地物判釋為研究目的，如何能確實將都市地區區分不同的地物為重要的課題，因此能加強各地物間的差別，消除臨近地物間模稜效應，加強彼此的差異度成為了關鍵之一。本研究就是嘗試比較 PCA+MTI+NDVI 流程與原始影像這兩者在分類上的差異，從實驗的結果是前者優於後者，能夠較明確的保留完整輪廓，且分類精度高於後者。

從隨機地物別檢核的分析中，PCA+MTI+NDVI 流程與原始影像間地物完整性的比較，PCA+MTI+NDVI 流程較原始影像在植物別、建物別以及開放空地獲取完整地物的比列都有提升的趨勢，僅在道路段無法保留完整性，因此使用 PCA+MTI+NDVI 流程較能提升各地物間的差別，消除臨近地物間模稜效應，保留地物完整輪廓。

後續研究將對於都市地物非監督式分類的成果進一步細分類別並賦與類別定義，作為都市綠地分析的主要分析依據，針對於上述步驟流程所分類出的植生類別，存取各年度的 NDVI 圖層，作為都市植生類別的光譜資料庫，以利後續研究綠植被分布的變化，以及植物生長在年間與季節

的變化情況

參考文獻

- 周明中(2005)：《紋理輔助高解析度衛星影像分析應用於偵測入侵性植物分布之研究》。台北，國立中央大學土木工程研究所碩士論文。
- 郭麟霖(2000)：《寒帶沼地高光譜影像分類之研究》。台北，國立交通大學土木工程學系碩士論文。
- 曾露儀(2008)：《以多時序多解析度之遙測資料進行植物交錯群落監測- 淡水紅樹林的研究個案》。台北，第四屆亞洲空間研討會論文集。
- 馮梓旋(2007)：《九份二山崩場地變遷之研究》。台北，明道管理學院環境規劃暨設計研究所碩士論文，30~38。
- 劉守恆(2002)：《衛星影像於崩場地自動分類組合之研究》。台北，國立成功大學地球科學研究所碩士論文。
- 蕭國鑫(1998)：《多時遙測光學與雷達資料於水稻田辨識之研究》。台北，國立交通大學土木工程學系碩士論文。
- 羅俊宏(2004)：《C 波段主動式雷達校正器之研製與量測》。台北，國立中央大學通訊工程研究所碩士論文，20~25。
- Du, Y., Teillet, P. M. and Cihlar, J. (2002): Radiometric normalization of multitemporal high-resolution satellite images with quality control for land cover change detection. *Remote Sensing of Environment*, 82, pp. 123-134.
- Chen, G., and Qian, S.E. (2008) : Evaluation and comparison of dimensionality reduction methods and band selection. *Canadian Journal of Remote Sensing*, (34) 1: 26-36
- Dechka, J.A., Franklin, S.E. Watmough, M.D. Bennett, R.P. and Ingstrup, D.W.(2002): Classification of wetland habitat and vegetation communities using multi-temporal Ikonos imagery in southern Saskatchewan. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 28(5): 679-685.
- Hotelling, H. (1933) : Analysis of a complex of statistical variables into principal components . *Journal of Educational Psychology*, 24, 417-441, 498-520.
- Journaux, L., Tizon, X Foucherot, I and Gouton, P. (2006) : Dimensionality reduction techniques : an operational comparison on multispectral satellite images using unsupervised clustering. *NORSIG* 2006:242-245.
- Lunetta, R. S.(1998) : Applications, project formulation, and analytical approach. In remote sensing change detection, environmental monitoring methods and applications, ed. Lunetta, R. S. and C. D. Elvidge, 1-19. Chelsea: Ann Harbor Press.
- Pearson, K. (1901) : On Lines and Planes of Closest Fit to Systems of Points in Space. *Philosophical Magazine* 2 (11): 559-572.
- Singh, A. and Harrison, A. (1985) : Standardized principal components. *International Journal of Remote Sensing*, 6(6): 883-896.

- Townsend, P.A. Walsh, S.J. (2001) : Remote sensing of forested wetlands: application of multitemporal and multispectral satellite imagery to determine plant community composition and structure in southeastern USA. *Plant Ecology* 157: 129–149.
- Wolter, P. T., Mladenoff, D. J., Host G. E. and Crow, T. R. (1995) : Improved forest classification in the northern lake states using multi-temporal landsat imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 61, No. 9, pp:1129-1143

投稿日期：101 年 1 月 12 日

修正日期：101 年 11 月 1 日

接受日期：101 年 11 月 30 日