

遙測高光譜影像於地物識別與 目標探測運用簡介

作者／電子電戰組主任教官 謝德望中校・海軍司令部戰系處副組長 江中熙上校
提要

- 一、自古至今的戰爭中，其用兵貴在知己知彼，尤其是在瞬息萬變的戰場上，若能掌握機先，就能克敵致勝，而主要的關鍵就在於如何蒐集有效且可用的戰場情資。由於科技不斷的進步，各種的精密電子裝備被應用在監視與偵察上，而遙測技術，也正是其中蒐集戰場情資的有效工具之一。
- 二、多光譜（Multispectral）影像與高光譜（Hyperspectral）影像，已廣泛地運用在民生與軍事用途上。多光譜遙測影像目前對於同屬植物區內之不同特徵的樹木與草皮，仍無法有效地區分，這說明了該影像無法解決相似度（similarity）的問題。
- 三、當高光譜影像的光譜解析度增加時，就顯現出「分類」技術的重要性，此技術不僅可將同屬金屬類的軍用卡車、飛機與雷達陣地等予以區分，並且隊對於同屬植物區內樹木與草皮等地物亦可分辨，解決了相似性問題，同時亦增進後續判圖工作之進行。
- 四、利用指、管、通、情、資訊、監視、偵察（C⁴ISR）系統結合遙測影像新技術，充分發揮遙測技術應用於軍事上的潛力以強化國軍戰力，並結合民間既有遙測人才，方能在未來戰場上立不敗之地。

前言

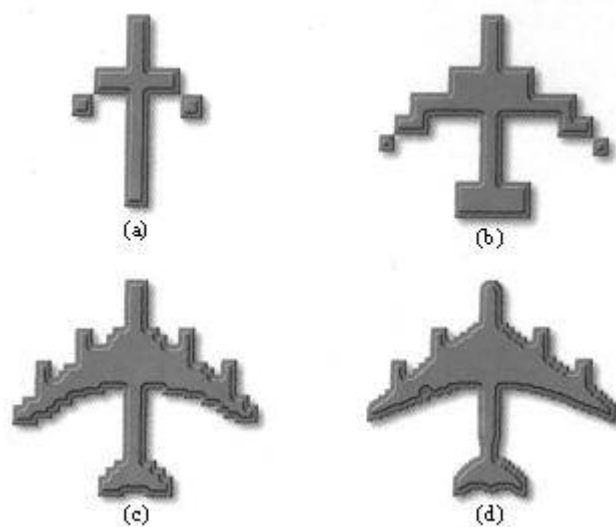
自古至今的戰爭中，其用兵貴在知己知彼，尤其是在瞬息萬變的戰場上，若能掌握機先，就能克敵致勝，而主要的關鍵，就在於如何蒐集有效且可用的戰場情資。目前世界多數先進國家，均從各類實際之近代戰爭中，深切體認即時地廣集情資並精析研判，並能洞悉戰場上的微妙變化，為未來戰爭決定勝負之重要關鍵。由於現今電子科技發展快速，運用範圍日漸廣泛，可說是一日千里，如何結合民間現有能量，共同積極參與遙測影像的分析與研究，使軍需與民用之科技合一，增進效益，實是當前重要之課題。

本文

一、何謂「遙測」

近年來由於科技的進步與發達，遙測技術已廣泛應用於日常生活，如氣象

播報員利用天氣雲圖解說未來的天氣、測量人員利用航空相片來製作地圖、環境學者依賴遙測收集環境資訊、農業人員辨識遙測影像以監測農作物生長的狀況等。「遙測」是「遙感探測」的簡稱，其原文即為 Remote Sensing，舉例來說，當我們去看醫生時，醫生使用 X 光檢查我們的胸腔，這就是「遙感探測」；同樣地，如果有一枚衛星對地球拍照，我們再把照片解釋出來，這也是「遙感探測」的領域。遙測技術就是以不直接接觸有關目標物，而由遙感探測的方式進行資訊收集，並對其作識別、分類、判讀和分析的一種技術（圖一為遙測影像在不同空間解析度下的成像情形¹）。由於遙測技術能在最短的時間內收集大範圍的資料，已成為瞭解大地不可或缺的利器。廣義的說法，遙測是一種使用感測器在不接觸物體的情況下收集目標物資訊的技術，如果以人體來說，眼睛就是人的感測器，使用眼睛看物體便是對物體進行遙測。依據感測器又分為主動式（光達（LIDAR）、微波遙測）及被動式（光學遙測）兩種。為了收集大範圍的資訊，因此利用如飛機或人造衛星等載具將感測器載到空中，對地面、海洋或大氣進行偵測，將所得的資料記錄下來作為分析之用。



圖一 軍事目標在不同空間解析度下的成像情形(a)十公尺(b)五公尺(c)二公尺(d)一公尺(資料來源：杜德銘，江中熙，「偵察衛星－商用高解析度遙測衛星之軍事應用」，海軍學術月刊，第三十六卷，第三期，民國91年3月，頁68~80。)

由於衛星偵察覆蓋面大，範圍廣，不受國界和地理條件限制，且偵察速度快，提供情報確切可靠，衛星偵察已成為軍方主要軍事情報來源和作戰指揮系統的重要組成部分，更是成為蒐集戰場情資的最有效工具之一。冷戰時期，美、

¹ 杜德銘，江中熙，「偵察衛星－商用高解析度遙測衛星之軍事應用」，海軍學術月刊，第三十六卷，第三期，民國91年3月，頁68~80。

蘇兩國在太空武力競賽上，投入各種技術的研究可說是不遺餘力，其中就遙測衛星（又稱間諜衛星）技術能力而言，更是不斷的提升，其目的就是要充分掌握軍事情資，達到運籌帷幄於千里之外、不戰而屈人之兵的效果。藉由檢視遙測的發展史，就可窺知偵察衛星的重要性。從早期美國南北戰爭中，使用熱汽球攜帶人員於高處觀察戰鬥情形與敵軍的運動，並於照相機加入記錄後，即是今日所稱「遙測」的起源；在 1925 年以前，利用鴿子攜帶照相機的方式，演進至第一次世界大戰使用偵察機攜帶照相機於敵後記錄戰場情況與敵軍活動，而在第二次世界大戰及稍後的韓戰及越戰期間，遙測技術更已擴展至戰術和戰略階層的偵察與監視。

二、光譜的特性

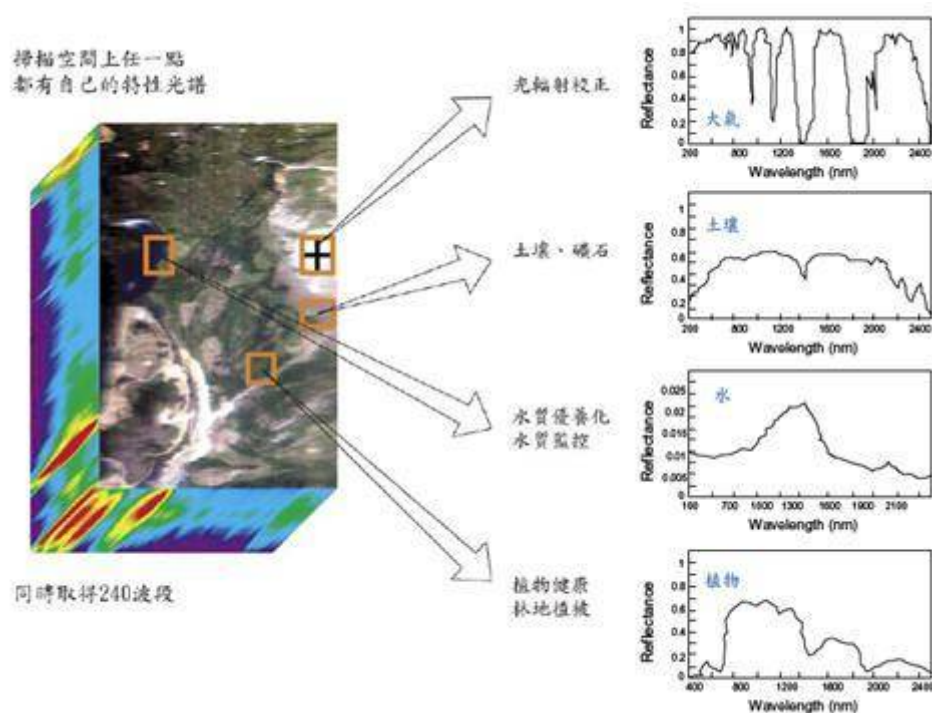
遙測影像依載台、探測裝置、光譜數量等不同而有不同的分類方式。依載台區分則可分為空載遙測影像與衛星遙測影像，依飛行高度的不同，分別具有不同之地面解析力及涵蓋範圍。依探測裝置分類，遙測影像包括主動式與被動式之探測系統，前者有雷射成像攝影機、掃描儀及合成孔徑雷達，而後者則為多波段相機或掃描儀。再依探測光譜之頻帶數量來分，則有使用數個頻帶之多光譜影像與數十個或二、三百個頻帶之高光譜影像²。

光譜影像為光學遙測的一種，要瞭解遙測的原理，首先要瞭解何謂「光譜 (spectrum)」。我們人類之所以可以看到周遭事物顏色的變化，是因為太陽光照射到物體後，光線經由物體表面反射到人的眼睛。從科學家牛頓簡單的光學實驗中就可窺得光譜的定義，該實驗的作法是：將一束光線從稜鏡一面射入，會從另外一面折射出七彩顏色光束，再把七彩的顏色光定義成光譜，而這些眼睛可看見的光線叫做可見光，其光譜的光波長是 $0.4 - 0.7\mu\text{m}$ ，藍光波長較短而頻率高，紅光波長較長則頻率低。如同物體對可見光的反射，不同物體對於不同波長的電磁輻射，其反射特性也不相同。雖然人眼感受不到可見光以外的光譜反射，卻可以利用精密的電子感光元件，透過光電效應記錄在電子儀器裡，這種記錄反射光譜的儀器便稱為光譜儀，記錄起來的資料便稱為光譜反射圖記。由於每一種物體的光譜反射圖記都不一樣，所以，這種光譜圖記可以說是用來分辨地物的辨識密碼。

不同的物體由於物質組成和結構的差異，而有不同的光譜特性，因此具有不同的反射光譜，物體之光譜反射值隨物體種類的不同而有變化，地表上的每一種物質因質地與表面特性不同，對於光譜的反射與散射也不相同，此即物體

² Robert A. Schowengerdt, "Remote Sensing-Models and Methods for Image Processing", Academic Press, 1997.

之光譜特性。由於光學遙測是利用各種物質在不同頻段(band)接收太陽光的反射值(reflectance)不相同的原理，使每種物質都擁有本身獨特的光譜反射曲線(圖二³)，利用此一光譜的差異性，便可分辨不同的物質，解決可能因為單純僅使用照片判斷，而對同樣顏色之不同種類物體所造成誤判的情形。



圖二 高光譜影像應用概念(資料來源：

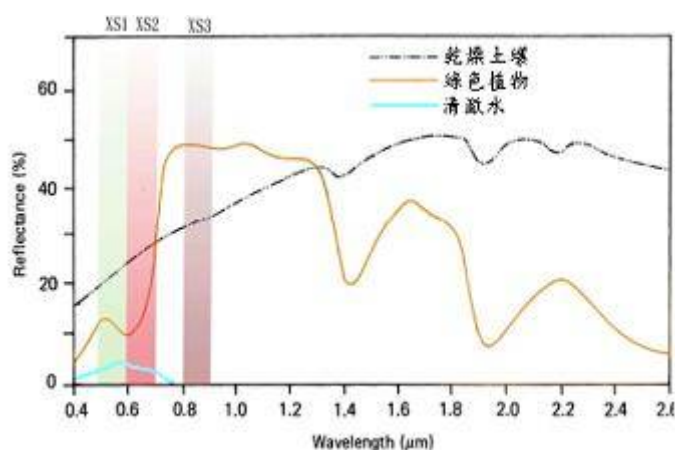
http://www.narl.org.tw/tw/publish/publication_file_download.php?publication_file_id=44)

針對物體的光譜特性，再深入說明，並以三種基本地物的光譜反射曲線為例，圖三⁴顯示了三種基本地物之典型光譜反射曲線，分別為：乾燥的土壤、健康的綠色植物，以及乾淨的水。乾燥土壤在短波長的可見光範圍內有較大的反射值，在此範圍內綠色植物的反射值則相對較低，但在近紅外光波段的部分，綠色植物則具有較高的反射值；乾淨的水對於各個波長的波段，皆具有很大的吸收能力，因此，在各波段的反射值都很低。另外，在圖中的 XS1、XS2、XS3 為 SPOT 衛星的多光譜頻段，其波段分別為綠光段 (XS1：0.5 μ m - 0.59 μ m)，紅光段 (XS2：0.61 μ m - 0.68 μ m) 與近紅外光段 (XS3： 0.79 μ m - 0.89 μ m) 均只有單一頻段，因此由圖中可知，藉由多光譜頻段的分析是無法判釋 (interpretation) 出不同物質的反射狀態。藉由以上述的分析，可得知不同的物體具有不同的反射值，因此，在高光譜的衛照圖研究分析潛艦的特性，以鯨魚來

³ http://www.narl.org.tw/tw/publish/publication_file_download.php?publication_file_id=44 .

⁴ Ravi P. Gupta, "Remote Sensing Geology", 2nd Edition, 2003.

取代潛艦進行模擬是不切實際的假設，因為鯨魚(動物)與潛艦(金屬物質)是分屬不同的反射值，故其所研究的成果令人質疑。由於潛艦不會經常浮出水面，而且所有頻段對水的反射值極低，故運用多光譜及高光譜影像來偵測海底潛艦的活動，是極為困難的一件事；遙測研究人員常利用物質因能階不同造成反射值依波長變化而異的特性，來判釋影像中的特徵物質。從影像內各點中可再細分出光譜分佈，則可藉由這些影像之光譜，配合已知物質的特性光譜資料庫，就能相對提升各點的組成及結構的成分，由此可再提供各項後續檢驗及分類應用。

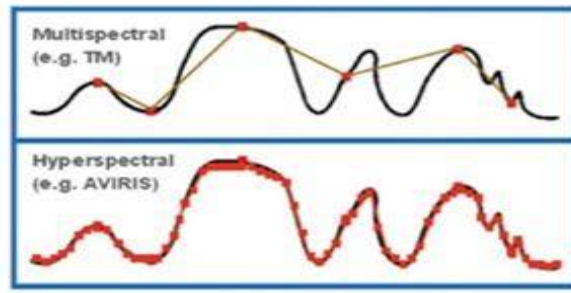


圖三 土壤、植物及水之標準光譜反射曲線

(資料來源：Ravi P. Gupta, "Remote Sensing Geology", 2nd Edition, 2003.)

隨著感測器技術的改進，遙測影像的光譜解析度，由先前多光譜影像的數個或數十個波段，進步到目前高光譜影像的數百個波段。亦即是，遙測影像光譜的解析度，由原數個光譜解析度的一般感測器，至數十個光譜解析度之「多光譜感測器」(Multispectral)，到數百個光譜解析度的「高光譜感測器」(Hyperspectral)，乃至於數千個光譜解析度之「超高光譜感測器」(Ultraspectral)，持續地進步演進。由於光譜解析度的提升，使得收集到物質資料的光譜曲線更貼近物質真實的光譜曲線(圖四⁵)，也因此更有助於物質的偵測及分類。「高光譜」解析度感測器已廣泛應用於衛星遙測影像之識別、醫學影像的診斷、工業產品之檢驗、飛機及其他精密機器設備之非破壞性檢查等應用上，「高光譜」遙測影像技術業已成為遙測影像中一個新興且重要的研究領域。高光譜影像應用(如圖五)主要分為三類，包括目標識別、背景物特性描述和異常物偵測三大類應用，說明如后：

⁵ 魏子軒，「高光譜影像分類辨識方法」，儀科中心簡訊 84 期，民國 96 年 12 月。



圖四 多光譜與高光譜差異圖，在上方為多光譜，在下方為高光譜
(資料來源：魏子軒，「高光譜影像分類辨識方法」，儀科中心簡訊，84期，民國96年12月。)

(一) 目標識別(target recognition)：

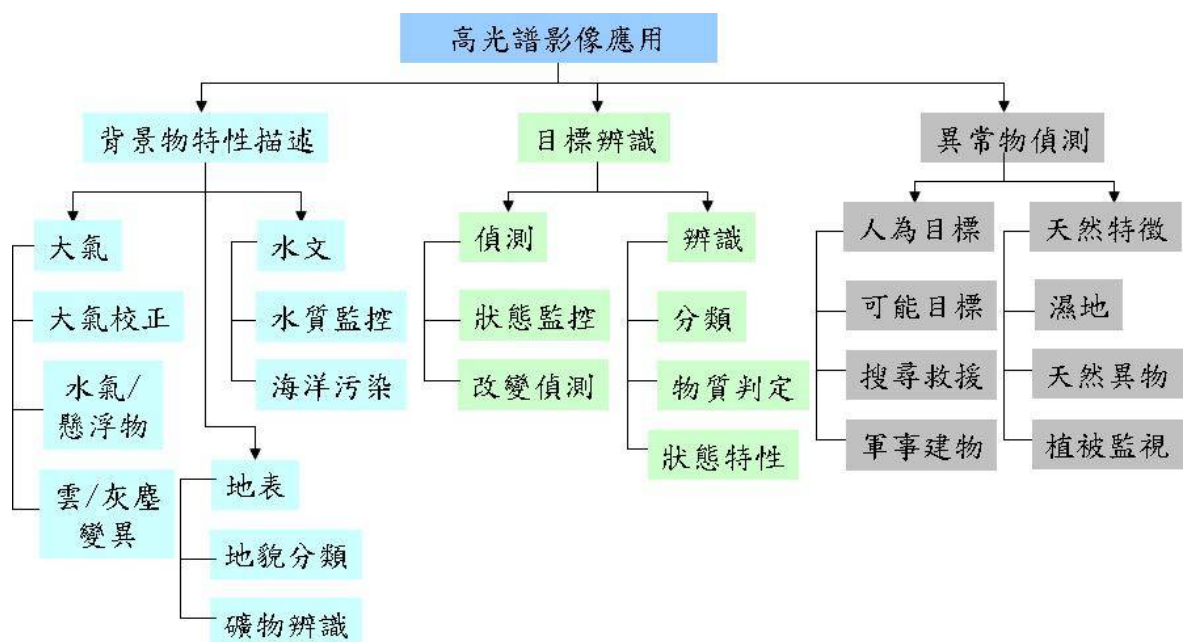
包含對於目標物的偵測、識別及分類，可用於變遷偵測以及物質狀態的監控。

(二) 背景物特性(background characterization)：

所描述的對象包含地表的覆蓋物、水文和大氣，可應用於海岸線的偵測、淺水地區地形結構的建立等。

(三) 異常物偵測(anomaly detection)：

異常物包含兩種特性：(1)在整張影像中所佔的面積極小；(2)異常物的光譜值和背景物的光譜值有很大的不同。其定義即為在一塊未知的中找出其光譜與背景物之光譜有顯著不同的目標物，該目標物在影像中所佔的面積可能區域極小，因此，可應用於軍事目標物之偵測。異常物偵測，對於海洋上偵測異常物係指目標已存在於海水的表層，對於底質分佈及珊瑚白化的監測上，僅適用於淺海；在陸地上，則較易於探測可能目標。



圖五 高光譜影像之應用(資料來源：作者自繪)

高光譜影像的成像原理(如圖六⁶)如下：太陽為一般輻射的來源，其輻射經過大氣層後與地表產生作用，有些輻射被吸收，有些輻射被反射，被反射的輻射線再經過一次大氣層的影響後，到達遙測衛星的感測器內。當輻射線經過目鏡後，必須經由分光鏡把它分成不同的光譜波段，這些經由光學感測器蒐集之光譜，所代表之意義即是呈現所觀測區域中不同之物質反射(值)，而這些光譜再經由影像處理技術，將所觀測區域之地貌與物質以影像(黑白或彩色)方式呈現，而形成影像中之每一個像素(pixel)，是組成影像之最小單位，依感測器之空間解析度大小，所呈現原貌之清晰度不同，如圖六之左邊所示。高光譜之光譜的光譜解析度高，可呈現較多之地表物質之光譜特性，其不同物質之光譜特性曲線如圖六右邊圖示，因光譜之解析度高，所呈現之光譜特性曲線近似於連續之曲線。與多光譜比較，高光譜可還原真實地表物質之光譜特性曲線。

由於高光譜影像含有較細緻且豐富的光譜資訊，因此，無法利用多光譜影像辨識的地物，都可以利用高光譜影像來處理。高光譜影像在資源及環保應用逐漸受到重視，在精準農業例如：農作物健康狀態及其含氮量情況、農產量預測、林業保育及分類、礦產石油分布、水質優氧化監控、河域環保及生態濕地保育等方面廣泛的應用；亦可運用於軍事用途上之特殊建築物辨視、地形的偵測、目標物分佈分析、軍事兵要製作及軍事監測等方面。

三、地物識別與目標探測之方法

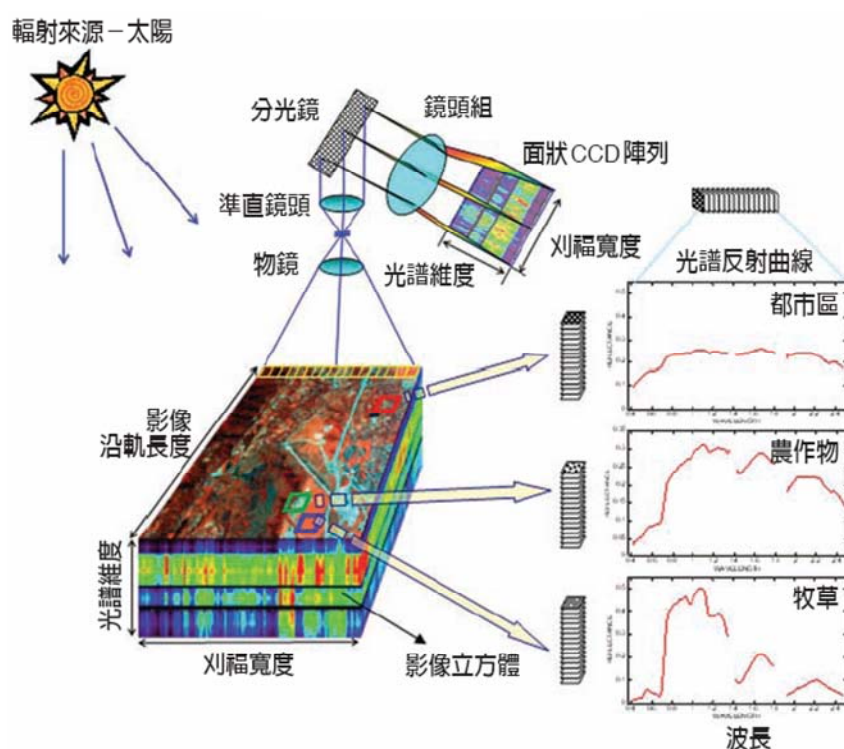
在過去，多光譜(Multispectral)遙測影像如美國大地(LANDSAT)衛星的TM(Thermal Mapping)影像及法國史波特(SPOT)衛星的影像，其空間解析度是十公尺至三十公尺之間，光譜解析度也只有三至七個波段(bands)，此類影像較常用於一些民生用途，如：災害評估、都市計畫、飢荒整治、生態資源監測、海岸線變遷及生態環境變遷偵測等。由於其空間解析度不足，只適合於大範圍面積的目標物偵測，對於小於十公尺範圍內的混合地物就無法偵測出來。為了能改善此缺點，有些學者利用其他輔助資料，來強化分類(classify)的有效性，如現地量測土壤、天候變化、蒐集現地生態樣本及地理資訊系統(GIS)等數據，以增加分析處理時的資訊量⁷，但是這需要耗費人力及時間，在軍事應用上緩不濟急。

另有學者利用「影像融合(Image Fusion)」技術⁸，將低空間解析度之多頻

⁶ 徐百輝，「大地的辨識密碼-高光譜影像」，科學發展 416 期，民國 96 年 8 月，頁 13-19。

⁷ C. F. Hutchinson, "Techniques for Combining Landsat and Ancillary Data for Digital Classification Improvement," *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 48, no. 1, Jan. 1982, pp. 123-130.

⁸ C. Pohl, J. L. Van Genderen, "Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications," *INT. J. Remote Sensing*, vol. 19, no. 5, 1998, pp. 823-854.



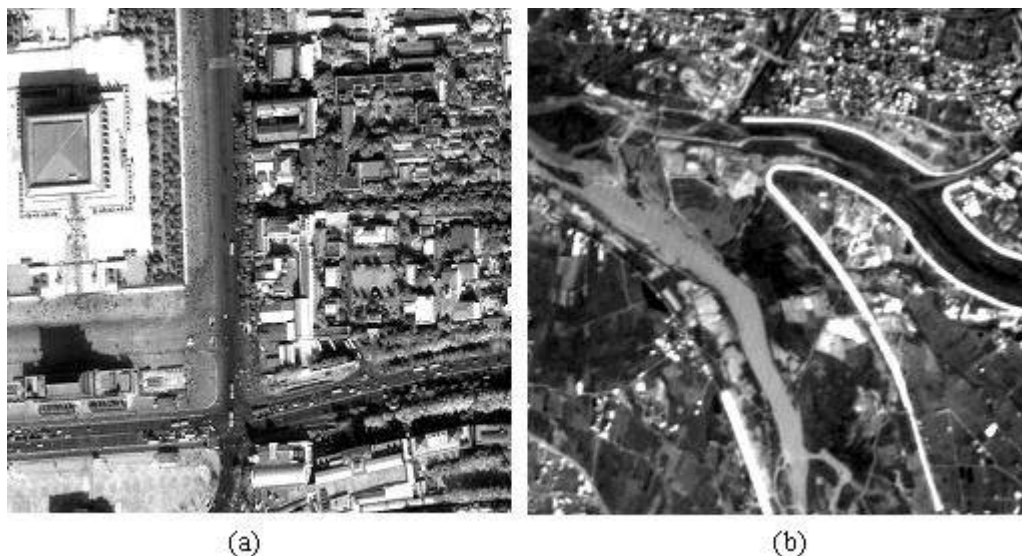
圖六 高光譜影像的成像原理(資料來源：徐百輝，「大地的辨識密碼-高光譜影像」，科學發展416期，民國96年8月，頁13-19。)

譜影像，加入高空間解析度之全色態（Panchromatic）影像，使得融合後的光譜影像空間解析度達到與全色態影像一致，仍能保留原光譜影像的資訊，此技術已證實對提高影像的清晰度有很大的助益，並由 1999 年底美國第一顆商業遙測衛星 IKONOS-II 順利運作，並由所提供的高空間解析度衛星影像得到驗證⁹，將其應用在影像製圖（Image Mapping）上，除可大大地提昇地圖的視覺化的功能外¹⁰，在軍事應用上，更能提供戰場指揮官精確的地理情資，與增加戰術運用的參考價值。

從比較不同空間解析度影像來分析，以往 SPOT 影像與目前 IKONOS 影像之不同處（如圖七），在於前者適用於大範圍地區的特徵萃取，而後者則可針對小區域特別是較危險的山區或陡峭的地形，尤其是一般空載型遙測也不易偵測的地區；然而 SPOT 影像則無法達到 IKONOS 影像之高解析度的成像。因此，相較於 SPOT 影像的空間解析度，雖然 IKONOS 影像已顯著的提高了許多，惟對於同屬植物區中不同特徵的樹木與草皮，仍無法有效地區分，這說明了多光譜影像無法解決相似度（similarity）的問題；也就是說多光譜（Multispectral）

⁹ 江中熙，「衛星影像融合技術之評估與精進」，國防大學中正理工學院電子工程研究所、碩士論文，2000。

¹⁰ J. Copple, L. Jordan, "Understanding The Future of Commercial Remote Sensing," Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Jan. 2000, pp. 5-14.



圖七 (a)IKONOS-II 衛星的一公尺全色態影像(b)SPOT 衛星的十公尺全色態影像
(資料來源：江中熙，「衛星影像融合技術之評估與精進」，國防大學中正理工學院電子工程研究所、碩士論文，2000)

遙測影像受到光譜數量的限制。對於多光譜影像中，同一種顏色但特徵 (signature) 不同的地物，如同屬金屬類的軍用卡車與飛機、或是雷達陣地等地物，就無法一一地予以詳細分辨，必須藉由使用高維光譜之高光譜 (Hyperspectral) 影像的高維度資料來進行分類，高光譜影像的分類技術不僅可將同屬金屬類的軍用卡車與飛機、或是雷達陣地等區分開來，更能將同屬植物區中不同特徵的樹木與草皮等地物予以區分，除解決了相似性問題外^{11,12}，更顯現出「分類」技術的重要性^{13,14,15}。

由於微電子科技技術的進步迅速，目前遙測衛星影像的發展趨勢，是朝向同時兼具高空間解析度(最好的在一公尺以下)、及高光譜解析度(一、二百個波段)等方向進行。因為高空間解析度的遙測影像，可在不經任何影像分析的技術處理下，就能有效降低人類目視判讀的錯誤，然而，一旦目標物不是那麼明確

¹¹ T. M. Tu, H. C. Shyu, Y. S. Sun, C. H. Lee, "Determination of Data Dimensionality in Hyperspectral Imagery-PNAPCA," Multidimension System and Signal Processing, vol.10, no.3, July 1999, pp.255-273.

¹² T. M. Tu, "Unsupervised signature extraction and separation in hyperspectral images: a noise-adjusted fast independent component analysis," Optical Engineering, vol. 39, no. 4, April, 2000, pp. 897-906.

¹³ T. M. Tu, C. H. Chen and Chein-I Chang, "A posterior least squares orthogonal subspace projection approach to desired signature extraction and detection," IEEE Trans. Geosci. and Remote Sensing, vol. 35, no. 1, 1997, pp. 127-139.

¹⁴ T. M. Tu, H. C. Shyu, C. H. Lee, Chein-I Chang, "An Oblique Subspace Projection Approach to Mixed Pixel Classification in Hyperspectral Images," Pattern Recognition, Vol.32, No.8, 1999, pp.1397-1406.

¹⁵ T. M. Tu, C. H. Chen and C-I Chang, "A noise subspace projection approach to target signature detection and extraction in unknown background for hyperspectral images," IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing, vol. 36, No. 1, 1998, pp. 171-1181.

時，運用高光譜解析度的影像「分類 (classify)」技術，才是最後實施確認的重要性關鍵。所謂「分類」技術就是利用統計的方法，對遙測影像中不同特徵的地表地物，予以正確分類的方法。

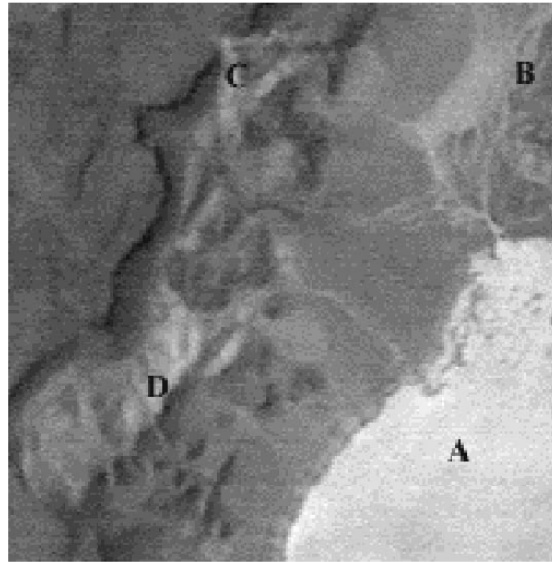
於高光譜影像進行分類辨識時，因為空間解析度不足，經常許多訊號來源會嵌入(embedded)在一個像素之內，因此以空間為基礎的影像處理技術已不適用，而是先使用以光譜為基礎的次像素(subpixel)目標偵測法來處理(每一個像素視為混合像素，內部可能包含兩種以上的物質，在像素內每一種物質所在之像素稱為次像素)，再利用空間或光譜特性對目標物進行偵測與分類。目前分為辨別(discrimination)與群集(clustering)兩種分析；辨別就是根據已知物質的進行分類，由已知值計算其成分的統計值，再依此統計值去分類其他未知物質，此為第一種方法，又稱為「監督式(supervised)」分類法^{同 11,12}，其主要包括三個處理階段，分別是訓練資料取樣(training data sampling)、分類(classification)及輸出；即是我們對預定分析地區之地形地物的種類是已事先知悉的，再利用演算法(algorithm)，以透過訓練(training)的方式，直到對於每個輸入(一張影像代表一個波段的顯像程度)都能正確對應到所需要的輸出(地物的種類)，因此在實施分類前，必須建立出一個訓練樣本(training pattern)，使在運用演算法的過程中有一個參考值，訓練樣本的建立來自於實際系統輸入與輸出，或是以往的經驗。以洗衣機清洗衣物所需時間計算為說明，洗衣機洗淨衣服的時間，與衣服的質料、數量、骯髒的程度有關，因此，必須先針對不同質料、數量、骯髒程度的衣服統計出洗衣所需的時間，建立訓練樣本。不同衣服的質料、數量、骯髒程度就像是每張影像(代表每個波段影像)的輸入，而洗衣所需的時間(已知的地物種類數量)則為分類時的參考目標值(target)，也就是輸出的參考值。大部分的研究方法均採用線性光譜混合分析法^{16,17,18}，所使用分析的影像為 NASA-JPL 的 AVIRIS 影像(空間解析度是二十公尺，二百二十四個頻段)(如圖八¹⁹)；藉由已知的物質資料來進行分類，圖八內所註釋之資料為學者後來去現地探勘所獲得的結果；學者 J. C. Harsanyi 與 C.-I. Chang^{同 16}提出一個「正交子空間投影法」(orthogonal subspace projection, OSP)，可同時降低資料維度以及將

¹⁶ C. Harsanyi and C.-I. Chang, "Hyperspectral image classification and dimensionality reduction: an orthogonal subspace projection approach," IEEE Trans. on Geo. And Remote Sensing, Vol. 32, No. 4, pp. 779-785, July 1994.

¹⁷ H. Ren and C.-I. Chang, "A Target-constrained interference-minimized approach to subpixel detection for Hyperspectral Images," Optical Engineering, Vol. 39, No. 12, pp. 3138-3145, December 2000.

¹⁸ D. C. Heinz and C.-I. Chang, "Fully Constrained Least Squares Linear Spectral Mixture Analysis Method for Material Quantification in Hyperspectral imagery," IEEE Trans. on Geo. and Remote Sensing, Vol. 39, No. 3, pp. 529-545, March 2001.

¹⁹ <http://aviris.jpl.nasa.gov/html/avirisfreedata.html>. The data cubes acquired over the Lunar Crater Volcanic Field(LCVF), Northern Nye County, Nevada, and over the Cuprite, Nevada, by the National Aeronautics and Space Administration Jet Propulsion Laboratory(NASA/JPL) AVIRIS instrument in 1992.



圖八 在LCVF影像標記中分別代表尋獲物質的位置，如「A」為沙漠中乾鹽湖河床位置，「B」為植物區，「C」為紅氧化玄武岩的煤渣，「D」為流紋岩(火山岩的一種)。(資料來源：<http://avris.jpl.nasa.gov/html/avrisfreedata.html>. The data cubes acquired over the Lunar Crater Volcanic Field(LCVF), Northern Nye County, Nevada, and over the Cuprite, Nevada, by the National Aeronautics and Space Administration Jet Propulsion Laboratory(NASA/JPL) AVIRIS instrument in 1992.)

不需要(undesired)偵測之物質或干擾(interference)予以去除，確實偵測出感興趣(desired)的物質。H. Ren 與 C.-I. Chang^{同17}亦採用限制目標物與干擾極小化之濾波器來偵測想要的目標，去除不想要的目標物，並且將干擾極小化；另外 D. C. Heinz 與 C.-I. Chang^{同18}提出完全限制最小平方法(Fully Constrained Least Square, FCLS)來提高目標物偵測與物質分類之準確性。

群集分析為第二種方法，利用統計的方式，將未知物質進行統計分類，以達到一個群集中差異值最小之目的，又稱為「非監督式(unsupervised)」分類法^{同13,14,15}，在未知背景的環境下，利用所設計之演算法對未知物質資訊，完成分類出我們感興趣的目標物，以達到目標偵測與判釋的目的，亦可稱為「盲目分離」(Blind Separation)；也就是說，對特定地區的遙測影像，我們無法得知該地區具有多少種類的地物數量，利用演算法的分析，可分類出該地區的地物種類數量。例如：我們不知道洗衣機內所放置的衣服的質料、數量、骯髒的程度，然而，我們需要的是洗淨後的衣服(不同衣服的質料、數量)；不同衣服的質料、數量、骯髒程度(代表雜訊)，就比喻為遙測影像的每張影像(代表每個波段影像)的輸入，其中每張輸入影像都包含著雜訊，利用演算法的分析，所分類後的輸出結果，則是洗淨後的衣服(預測的地物種類數量)，也就是所需的目標物(target)。輸入代表著雜訊與原來地物種類數量，也就是整張拍攝的影像(內含

雜訊)，比喻為髒衣服(乾淨衣服代表原來地物數、髒東西代表雜訊)，對非監督式方法而言，是不管背景環境或是雜訊(髒東西)為何，分類完成時，會獲得不同的地物種類數量(乾淨衣服)。

針對次像素(subpixel)所發展的非監督式分類法，計有學者 C. Brumbley 與 C.-I. Chang²⁰ 應用卡曼濾波器(kKalman Filter)提出非監督式向量量化演算法(Unsupervised Vector Quantization Algorithm)；H. Ren 與 C.-I. Chang²¹ 應用正交子空間投影法提出非監督式產生目標物之處理；D. C. Heinz 與 C.-I. Chang²² 應用最小平方誤差(least square error, LSE)以及完全限制最小平方法，提出非監督式之完全限制最小平方法；學者 T.-M. Tu 則是使用獨立成分分析法結合雜訊調整之非監督式分類來探測地物目標^{同註15}。

目前高光譜的影像光譜儀皆為空載型，以美國的最先進，中共次之；以美國為例，如 NASA-JPL 的 AVIRIS 影像（空間解析度是二十公尺，二百二十四個頻段）（如圖八^{同註19}），以及 NRL 的 HYDICE 影像（空間解析度是一至四公尺，有二百一十個波段）（如圖九^{同註14}），兩者都是高光譜的遙測影像。圖十為「盲目



圖九 以紅、綠、藍三波段的影像成像之 HYDICE 影像。

（資料來源：T. M. Tu, H. C. Shyu, Y. S. Sun, C. H. Lee, "Determination of Data Dimensionality in Hyperspectral Imagery---PNAPCA," Multidimension System and Signal Processing, vol.10, no.3, July 1999, pp.255-273.，Hyperspectral Digital Imagery Collection Experiment 係由美海軍研究實驗室(Naval Research Laboratory)所發展)

²⁰ C. Brumbley and C.-I. Chang, "An unsupervised vector quantization-based target signature subspace projection approach to classification and detection in unknown background," Pattern Recognition, Vol. 32, no. 7, pp.1161-1174, July 1999.

²¹ H. Ren and C.-I. Chang, "Automatic Spectral Target Recognition in Hyperspectral Imagery," IEEE Trans. on Aerospace and Electronic System, Vol. 39, no. 4, pp.1232-1249, October 2003.

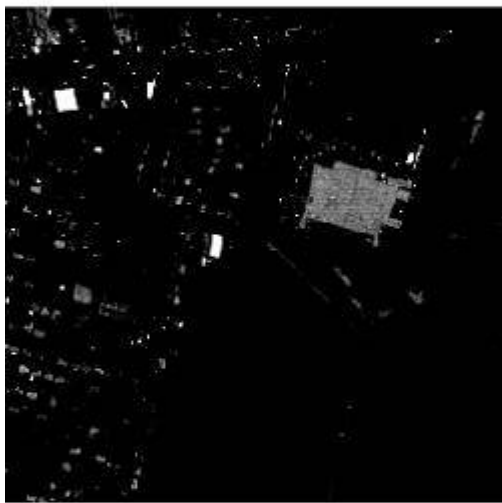
²² D. C. Heinz and C.-I. Chang, "Fully Constrained Least Squares Linear Spectral Mixture Analysis Method for Material Quantification in Hyperspectral Imagery," IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 39, no. 3, pp.529-545, March 2001.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

圖十 利用獨立成份分析法所得分類結果(a)草地1 (b)樹木1, 道路1,及建築物(c) 含金屬物質(d)灰色磚塊 (e)屋頂 (f)樹木2 及草地2

(資料來源：T. M. Tu, P. S. Huang, P. Y. Chen, "Blind Spectral Signatures Separation in Hyperspectral Imagery", IEE Proceeding : Vision, Images, Signal Processing, vol.148, no.4, 2001, pp.217-226.)

分離」法的分類結果²³，顯示出高光譜遙測影像技術分析處理的結果，即是將相同類型的物質予以聚集在一起，可作為後續判釋之運用。「非監督式」分類法有效地解決，在未知環境中不需事前去實地採集實驗數據，就能直接從衛照影像中分類出重要的光譜特徵，不但省時、省力，甚至不需要冒著生命危險至敵人軍事地區蒐集情報。

由於高光譜的遙測影像，已廣泛地運用在民生與軍事用途上，如鑑別各式軍事偽裝網及材質、判釋生化戰劑的成分與監測、環境污染的監測、判釋植被區中各種植物類別及生長的狀況、陸地／海岸邊界的測繪、判釋礦區地表地物的數量等方面；藉由「盲目分離」分類法，除可將遙測影像內含的各種地表地物，清楚地依各種屬性分類出其特徵外，更相信此方法對判讀人員未來進行遙測影像判讀時，將有莫大的助益²⁴。

結論

二十一世紀是太空競賽的新紀元，姑且不論在太空衛星科技中所涵蓋的通訊、定位及照相等功能外，以遙測衛星對地球觀測所佔的重要地位，則是無庸置疑的。尤其是在軍事應用上，不但提供了戰場環境變化的重要情資，可反應戰場變化的需求外，亦能提供有效的影像資訊，順利完成任務。在本文中，介紹了遙測的軍事應用實例、遙測影像之特性、與遙測分類方法等內容，希望藉由本文的介紹，除讓讀者對遙測新技術在軍事用途上有初步的認識外，並可作為相關單位研發之參考，期能有效縮短我國發展遙測偵察戰力的期程。

克勞塞維茨曾說：「戰爭為政治的延續」。由高解析度遙測影像的獲得，使戰場情資具備適時（IKONOS 衛星再訪頻率約三天）、正確可靠、安全經濟、完整適用、超越時空之特性，能適時提供敵戰鬥序列、意圖、兵力、部署、指揮、戰損評估等資訊，故遙測影像情資，不僅是使敵人重挫的秘密武器，更是保證戰爭勝利的基礎為打在開火之前的具體說明；明日的戰爭，必定是一場高科技的戰爭，故吾人更應體認遙測衛星發展之趨勢與其運用之重要性，並希望國軍在利用指、管、通、情、資訊、監視、偵察（C⁴ISR）系統能結合遙測影像新技術，充分發揮遙測技術應用於軍事上的潛力及強化國軍戰力，並結合民間既有遙測人才，方能在未來戰場上立於不敗之地。

²³ T. M. Tu, P. S. Huang, P. Y. Chen, "Blind Spectral Signatures Separation in Hyperspectral Imagery", IEE Proceeding : Vision, Images, Signal Processing, vol.148, no.4, pp.217-226, 2001.

²⁴ 李靖海，杜德銘，徐學群與孫郁興，「超高維頻譜遙測技術與軍事目標物偵測之應用」，陸軍電子學術季刊，第八十八期，1999，頁 47-52。（註：此處所述「超高維頻譜」應為「高光譜」）