

紅外線熱像於軍事上自動辨識之應用

作者／國防部通次室 李信輝中校・海軍司令部戰系處 江中熙 上校

提要

「戰場狀況、瞬息萬變」，在戰場上如何「知己知彼」，才能達到「百戰不殆」，為現今重要的課題；也就是說，在現今的戰爭中，即時地廣泛蒐集情資與洞悉戰場上的變化，方能成為戰爭的勝利者。由於，人類位處於一個極度危險與緊張的戰場環境下，其視覺神經將大大地受到影響，亟需一個自動目標辨識系統來增進辨識能力。如何藉由偵測感應器來使作戰部隊『即時』辨識目標增進作戰效益，為本文探討的主要方向。

由於光波亦為電磁波的一種，有效掌握制電磁權，為電子作戰成功的關鍵。對於紅外線熱像辨識，本文運用主值分析法(Principal Components Analysis, PCA)、線性判別分析法(Linear Discriminant Analysis, LDA)及其所延伸的數理演算模式，進而設計出一套自動目標辨識系統，除了可增進辨識效能外，亦提供戰場景觀的特殊熱像目標特徵辨識，有效達成戰場自動目標辨識之目的，更有助於減輕戰場武器操作人員的負擔和避免自動化精確導引武器鎖定錯誤目標，可提升全天候作戰能力；本文所使用的方法經實驗證明，將大大地提高各種精確導引導彈等武器快速反應能力和命中精度，對作戰方式和作戰效能產生重要影響，成為武器裝備總體效能的倍增器，對提高軍隊的戰鬥力發揮了重要作用。

壹、前言

在日常生活中通常會尋求和辨識一些有意義的物體，經過一段時間的學習和練習，即使在一個具有挑戰性的環境下，亦會成為有效率的觀察人員。然而，人類的偵測及識別的能力，不可避免地仍然會受到較差的觀測環境、長時期監視疲勞、繁多的目標(即是較難目視的目標、危險的區域特性)等因素影響，而有所限制。為了彌補像這些影響操作人員能力的限制因素，確實是迫切地需要一個正確且實用的自動目標辨識系統。

在民生用途上，許多以任務為導向的自動目標辨識系統已經成功地發展，並且運用在大量的任務需求當中，像是汽車自動導航系統、汽車製造檢查系統及農藥自動噴灑系統。在軍事領域上，特別需要一套有效率的自動目標辨識系統；舉例來說，在警戒的崗哨裡，可藉由此目標辨識系統於車輛接近時，能提供正確識別的資訊並產生預警信號。同樣地，對於導引飛彈而言，亦需要一套有效率的自動目標辨識系統，能自動並精確導引其摧毀目標。

近幾年來，光電裝備已成為戰場上重要偵測設施之一，以光電頻譜所發展的紅外線熱像儀，更為夜間作戰提供了先進的技術手段，夜戰已提高到更重要的地位。由於紅外線熱像儀的影像品質與解析度提升和具備超強的抗干擾能力。因此，除了常見的工業檢測外，更包含了視覺監控與醫療暨軍事上等各種多樣化的應用。紅外線影像不受低空工作時地面和海面的多路徑效應影響，低空導引精度高，可直接攻擊目標要害，具有多目標全景觀察，追蹤及目標識別能力；遠波紅外線影像更可穿透煙霧，且分辨率高；並可整合微處理器實現對目標的熱成像智慧化導引，亦即利用自動目標辨識系統對熱成像之目標自動辨識而完成導引任務；因此，紅外線影像結合自動辨識系統，更增加其在軍事上之應用。

貳、紅外線攝影機

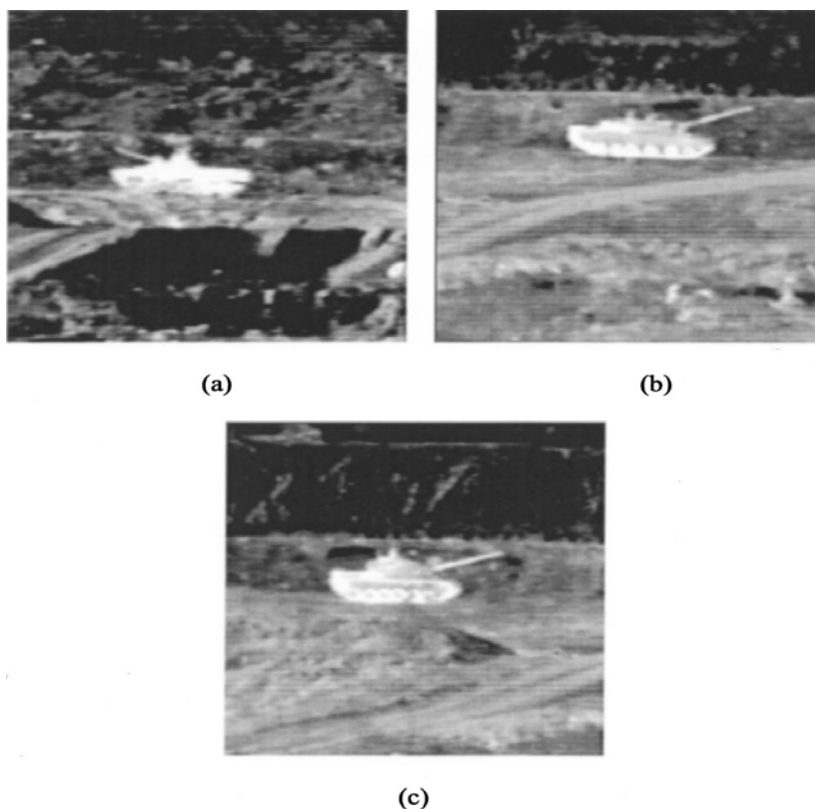
可見光是電磁波頻譜中的一小部分，是人類的眼睛可以看得到的，其分為紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫等「七彩」色光，這樣的順序代表的是這些色光的頻率。「紅外線」就是在光譜上位於紅光外面的光線，因此，紅外線是看不見的。而「紫外線」當然就是在光譜上位於紫光外面的光線了，同樣是看不見的。紫光的波長比較短，大約是 4,000 埃（1 埃= 10^{-10} 米）；而紅光比較長，大約是 7,000 埃。如果套用「奈米」（nanometer, 1 nm= 10^{-9} m）為單位，紫光波長大約是 400 奈米，紅光波長大約是 700 奈米。由於一般人的眼睛只能接收 400 至 700 奈米此一段的電磁波，對於「比 400 奈米短」或「比 700 奈米長」的電磁波，肉眼就感應不到了。而 700 奈米到 1 毫米（ 10^6 奈米）這一段將近是可見光波段 3 千倍的範圍，則被含糊地通稱為「紅外線」。由於不同學者對於「近」、「中」、「遠」範圍的定義都會有所不同，於此處概略分成「近紅外線」（700 奈米到 4,000 奈米或 4 微米，又稱短波紅外線）、「中波紅外線」（4 至 40 微米）、以及「遠波紅外線」（40 微米至 1,000 微米或 1 毫米，又稱長波紅外線）。由於紅外線是一種不可見光，用眼睛直接看當然是沒辦法，那有沒有辦法看到它呢？可以藉由「電荷耦合裝置」（charge coupled device, CCD）把紅外線轉換成可見光。所謂 CCD 就是在數位相機和攝影機裡面，用來擷取影像並轉換成為電磁訊號的那一塊晶片。除了數位相機和攝影機之外，電視新聞經常提到、街頭巷尾到處都有的監視器，也是利用 CCD 的例子。

紅外線攝影機依據其感測器使用的波段不同，可分為近紅外線(Near IR)攝影機、中波紅外線(Mid-wave IR)及長波紅外線(Long-wave IR)熱像儀三種；近紅外線攝影機使用的波段在 $0.75\mu\text{m} \sim 3\mu\text{m}$ 之間，其成像原理與可見光攝影類似，故

拍攝出來的影像也與可見光影像類似；一般可見光 CCD 感測器對於部分近紅外線波段電磁波亦有響應，所以近紅外線攝影常見於一般數位攝影機/監視器所附的夜拍模式，其拍攝時需要由攝影機主動打出近紅外光，照射目標物體，然後由感測器接收物體反射之近紅外光而成像，因此其夜視功能的可見距離，通常取決於所發出的近紅外光強度，而有距離上的限制。中波紅外線及遠波紅外線攝影，與近紅外線攝影最大的不同，在於中/遠波紅外線熱像儀，是透過感測器被動地接收外界物體所發出的中/遠波紅外線能量，因此完全不需要打光即可在各種不同光源環境下拍攝，達到遠距離夜視的功能，同時被拍攝物體的表面溫度，也可以由中/遠波紅外線熱像儀所接收到的訊號強度換算出來；因此，在幾公里外即可偵測到引擎或是人類的熱氣，但是較長距離的觀測則會因為紅外線受到空氣及水蒸氣的吸收、散射及繞射等因素而變得更加困難。中/遠波紅外線影像又被稱作熱像，其應用範圍，涵蓋了檢測、監控、醫療、軍事各方面，也正因如此，較高層級紅外線熱像儀的銷售，大多受到美國政府的管制，產品的價格也高於近紅外線攝影機。

前視紅外線(forward looking infrared, FLIR)為熱像儀廣泛地運用在軍事用途上的例子(如圖一¹所示)，同樣都是運用感測紅外線輻射源的裝置，是一種夜視裝置使用紅外線感測器將紅外線頻段內的視景掃描，並轉換這些紅外線輻射成為電子資料及影像而呈現於顯示幕上；以往都僅是運用在飛機系統上，但是現在都可應用於車輛行駛及偵察等即時(real-time)熱像系統上，而不再局限於飛機系統。使用前視紅外線偵測熱源係藉由組成圖像而輸出視訊，可以幫助飛行員及坦克駕駛員於夜間或是霧區飛行與行駛、或是在一個全黑的環境(多雲且無月亮的夜晚)下偵測溫體目標。使用前視紅外線於夜間偵測不同物體的紅外線波長，通常都是使用可見光及近紅外線的頻段區域。目前許多前視紅外線偵測系統都使用數位影像處理技術來改善影像品質與增進自動辨識的功能。

¹ Sun-Gu Sun, Hyun Wook Park, "Automatic target recognition using boundary partitioning and invariant features in forward-looking infrared images," Optical Engineering, Vol. 42, pp. 524-533, February, 2003.



圖一 三種範例為軍用載具前視紅外線影像(a)目標A(b)目標B(c)目標C

(資料來源：Sun-Gu Sun, Hyun Wook Park, “Automatic target recognition using boundary partitioning and invariant features in forward-looking infrared images,” *Optical Engineering*, Vol. 42, pp. 524-533, February, 2003.)

參、自動目標辨識系統

人眼觀察成像於顯示器上的場景或處於一定背景上的目標時，具有複雜的生理判斷和感知過程；結合工程實踐，可把這個過程分為探測(或發現)、分類、識別及確認等四個等級。依據目標相對於背景的亮度差異把目標從背景中提取出來，這就是「探測」，在此基礎上，判定目標的大致屬性(例如：是人或是車輛)，即「分類」。對於已「分類」者做一些區分(例如：是坦克還是卡車)，謂之「識別」。最高等級是「確認」，是要獲取目標更具體的細節，掌握其更詳盡的特徵，例如判斷坦克的型號是 M48H 或是 M60A3。

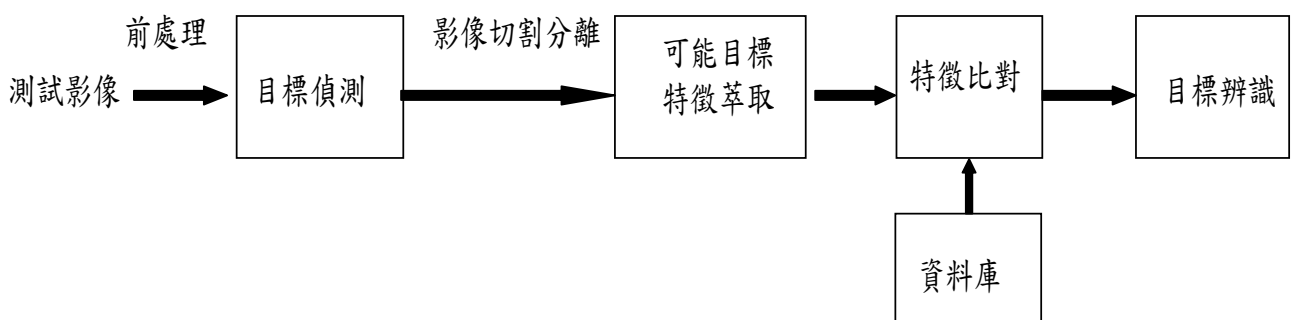
在平常能見度高的環境中，人類可以清楚地辨識各種不同的物體，然而，對於低能見度或者處於一個極度危險的環境，像是戰場，人類的視覺辨識能力將徹底地惡化。為了補償人類這樣的限制，對於智慧型與多樣性的自動目標辨識系統是迫切需要的^{2,3,4}。跟人眼觀察場景一樣，自動目標辨識的工作亦分為探

² Bhanu, B., “Automatic target recognition: state of the art survey,” *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, Vol. 22, No. 4, pp. 364-379, 1986.

³ Rogers, S. K., Colombi, J. M., Martin, C. E., Gainey, J. C., Fielding, K. H., Burns, T. J., Ruck, D. W., Kabrisky, M.

測(或發現)、分類、識別及確認等四個等級，找出目標的位置和鑑別不同目標的類型。於不久的將來，自動目標辨識系統對於防衛系統，例如：對於坦克、飛機及艦艇等而言，將是非常重要的防衛元件。

所謂自動目標辨識技術，就是使用電腦處理單一或多重感測器所獲得之影像資料，全自動進行目標的偵測與辨識。基本原理為當感測器獲得戰場影像後，經過移除雜訊或增強目標資訊，偵測出影像中目標可能區域，電腦便將可能目標從影像中切割出來；也就是從影像中所包含著可能目標部分之區域萃取出來稱為探測(或發現)階段，而干擾雜訊判別階段則是從可能目標中判斷出真實的目標而且拋棄雜訊目標；最後的分類階段則是計算這組特徵，進而判定目標的型式，則屬於識別與確認階段；亦即一個完整的目標自動辨識系統是由許多演算法所組成，將四個階段工作轉換為工程上來實現，則為影像前處理、目標偵測、影像切割分離、特徵萃取、特徵比對等作法，如圖二。對於自動目標辨識技術，許多學者已經發展不同的目標偵測演算法，舉例來說，典型的方法計有命中與漏失轉換(Hit-miss Transform)、型態小波轉換⁵、型態學⁶和方向性小波⁷等方法。最近幾年，S. A. Rizvi 等學者提出類神經結合主值分析法⁸，與 L. A. Chan 等學者使用特徵空間分離轉換法(Eigenspace Separation Transform, EST)⁹，都運用在把可能目標內的雜訊予以消除的工作上。



圖二 自動目標辨識系統典型處理步驟(作者繪製)

and Oxley, M., "Neural networks for automatic target recognition," Neural Networks, Vol. 8, N.o. 7, pp. 1153-1184, 1995.

⁴ Racher, J. A., Walters, C. P., Buser, R. G., and Guenther, B. D., "Aided and automatic target recognition based upon sensory inputs from image forming systems," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 19, No. 9, pp. 1004-1019, 1997.

⁵ Casasent, D. and Ye, A., "Detection filters and algorithm fusion for ATR," IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 6, No. 1, pp. 114-125, 1997.

⁶ Pham, Q. H., Brosnan, T. M. and Smith, M. J. T., "Sequential digital filters for fast detection of targets in FLIR image data," Processing SPIE, Vol. 3069, pp. 62-73, 1997.

⁷ Murenzi, R., Johnson, D., Kaplan, L. and Namuduri, K., "Detection of targets in low resolution FLIR imagery using two-dimensional directional wavelets," Proceedings SPIE, Vol. 3371, pp. 510-518, 1998.

⁸ Rizvi, S. A., Saadawi, T. N., and Nasrabadi, N. M. "A modular clutter rejection technique for FLIR imagery using region-based principal component analysis," IEEE Transactions Image Processing, Vol. 2, pp.475-478, 2000.

⁹ Chan, L. A., Nasrabadi, N. M. and Torrieri, D., "Bipolar eigenspace separation transformation for automatic clutter

由於目標種類繁多，擷取影像時亦會發生不同角度及型態的變化，圖三為目標在不同視角下的外形變化情況。如何尋找具有良好描述和分類性能的特徵，以及如何提取這些特徵，就成為解決目標識別問題的關鍵。運用統計分析的方法，像是主值分析法(Principal Components Analysis, PCA)、線性判別分析法(Linear Discriminant Analysis, LDA)等方法進行目標偵測與辨識都是非常普遍的方法。因此，使用 PCA 法將影像轉換到特徵空間來萃取特徵(Feature Extraction)，可將其視為標準作法¹⁰，而且學者 Turk 與 Pentland¹¹已經成功地將 PCA 應用在目標辨識的系統；Murase 和 Nayar¹²則是也在不同亮度的情況下，使用 PCA 法來進行物體辨識的工作。LDA 法則是由 Fisher¹³所發展出來的，而 Swets 和 Weng¹⁴則進一步使用 LDA 法對有群組特性的影像實施分類的工作；另外，Belhumeur, Hespanha 和 Kriegman 等¹⁵學者也使用 LDA 的方法運用在目標影像辨識的問題上，文獻¹⁶並使用 LDA 法對有群組特性的影像實施分類的工作；另外，Belhumeur, Hespanha 和 Kriegman 等¹⁷學者也使用 LDA 的方法運用在目標影像辨識的問題上，文獻¹⁸並同時與 PCA 的方法進行比較。

rejection,” in Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing, Vol. 1, pp. 139-142, 1999.

¹⁰ Kirby, M., and Sirovich, L., "Application of the KL procedure for the characterization of human faces," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.12, No. 1, pp. 103-108, 1990.

¹¹ Turk, M., and Pentland, A., "Eigenfaces for recognition." Journal of Cognitive Neuroscience, Vol. 3, No. 1, pp. 71-86, 1991.

¹² Murase, H., and Nayar, S. K., "Illumination Planning for Object Recognition Using Parametric Eigen Space," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 16, No. 12, pp. 1219-1227, 1994.

¹³ Fisher, R. A., "The use of Multiple Measures in Taxonomic Problems," Ann. Eugenics, No. 7, pp. 179-188, 1936.

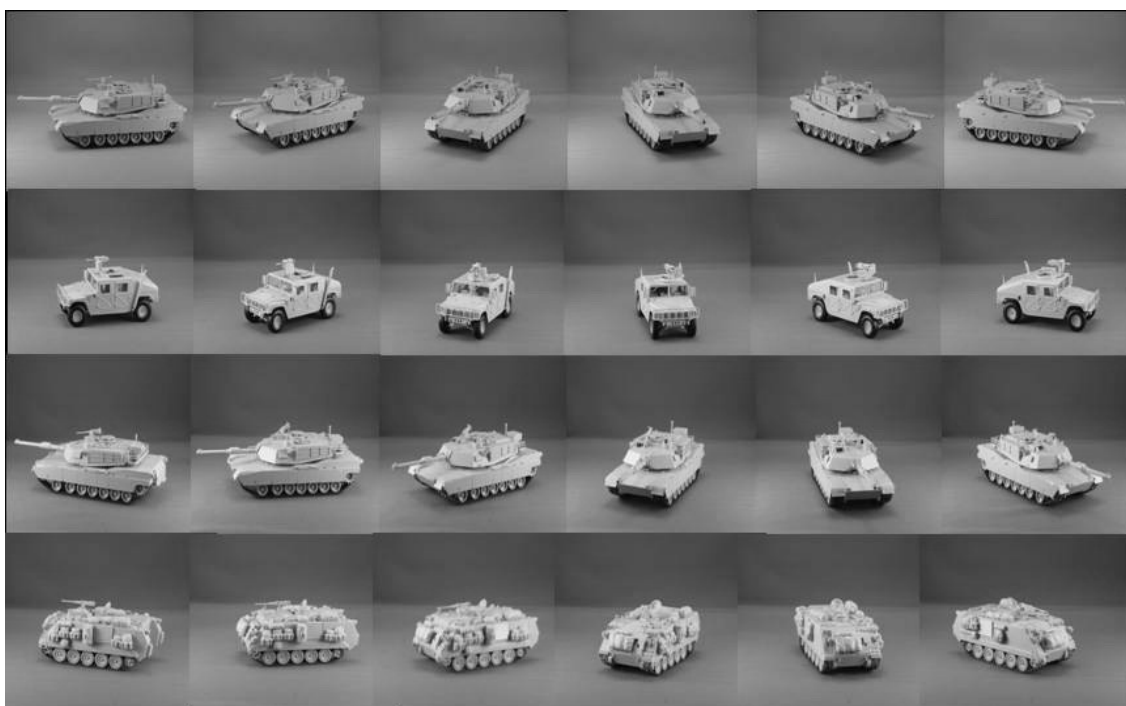
¹⁴ Swets, D., and Weng, J., "Using Discriminant Eigenfeatures for Image Retrieval," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 18, No. 8, pp. 831-836, 1996.

¹⁵ Belhumeur, P., Hespanha, J., and Kriegman, D., "Eigenfaces vs. Fisherfaces: Recognition Using Class Specific Linear Projection," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 19, No.7, pp. 711-720, 1997.

¹⁶ Martinez, A. M., and Kak, A. C., "PCA versus LDA," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 23, No. 2, February, 2001.

¹⁷ Belhumeur, P., Hespanha, J., and Kriegman, D., "Eigenfaces vs. Fisherfaces: Recognition Using Class Specific Linear Projection," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 19, No. 7, pp. 711-720, 1997.

¹⁸ Martinez, A. M., and Kak, A. C., "PCA versus LDA," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 23, No. 2, February, 2001.



圖三 不同視角下之不同目標外型變化(作者攝製)

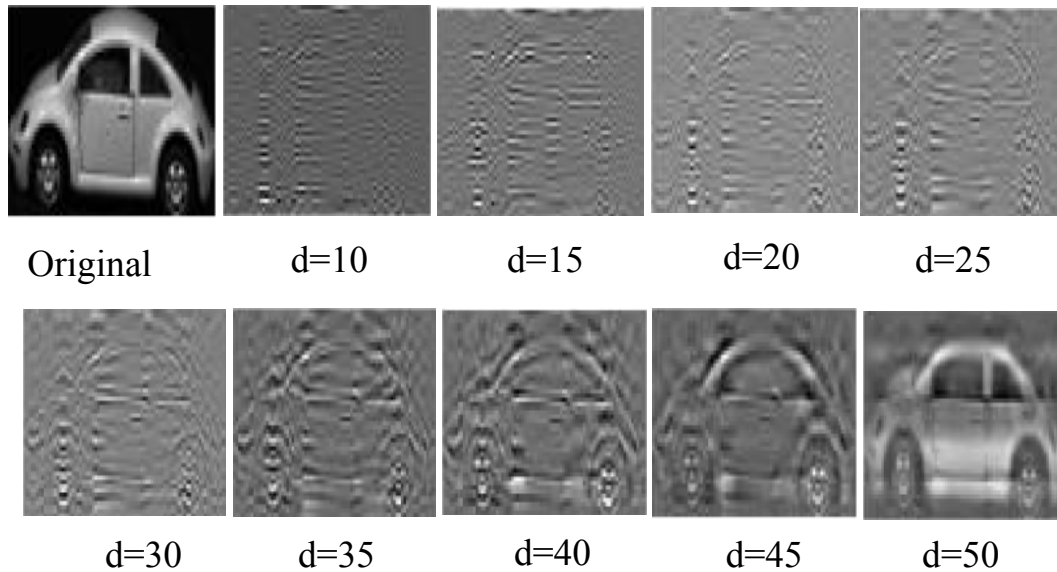
近年來，Yang 等人於 2004 年提出了二維主值分析法(Two-Dimensional Principal Component Analysis, 2DPCA)運用於影像目標識別¹⁹，它是直接擷取整張二維影像的特徵向量取代原本 PCA 將影像轉換為一維向量運算，與傳統 PCA 相比，採用 2DPCA 進行特徵提取，不僅識別率較高，而且運算速度也有很大的改良，然而在 2DPCA 轉換的過程中僅考慮個體間的差異性，並沒有針對辨識時真正的需求，也就是沒有考慮類別間的差異來作最佳化的轉換。二維線性鑑別分析法(Two-Dimensional Linear Discriminant Analysis, 2DLDA)為一種線性的分類，是 2005 年由 Ye 等人提出²⁰，主要的概念是找出轉換前後群組內及群組間散佈矩陣和轉換矩陣的關係，用以縮小轉換後同一群組內特徵參數與該群組中心點的距離，並拉大不同群組間中心點的差距。為了能夠正確的將影像做分類與辨識，本文中²¹，進一步的採用二維線性鑑別分析法(2DLDA)來找出目標影像中最具鑑別性的特徵；因此，可以根據上述方法容易地對目標做出正確的分類識別決策。運用 2DLDA，投影第一張目標影像(如圖四)到最佳的投影軸上，隨後，可以使用這些特徵向量集合重建目標影像，圖四顯示了一張原始影像以及一些重建後的影像。圖四中維度(d)值的變化定義了重建影像的維度數量。觀察這些

¹⁹ Yang, J., Zhang, D., Frangi, A.F., and Yang, J.Y., "Two-dimensional PCA: A new approach to appearance-based face representation and recognition," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 26, No. 1, pp.131-137, 2004.

²⁰ Ye, J., Janardan, R., and Li, Q., "Two-dimensional linear discriminant analysis," Advances in Neural Information Processing Systems, Vol. 17, pp. 1569-1576, 2005.

²¹ 李信輝，目標影像自動辨識方法之研究，國防大學中正理工學院碩士論文，96 年 6 月。

影像後，我們可以發現隨著 d 值得增加，這些重建的影像會與原圖越來越相似。



圖四 運用2DLDA產生之重建目標影像(作者繪製)

另外，由於不變數代表的是目標整體幾何特徵，局部的資訊遺失並不會影響識別的結果，1962 年學者 Hu²² 建構出 7 個著名的不變矩(Moment)數，2002 年 Janne Heikkila 學者提出多尺度自動迴旋積(Multi-Scale Autoconvolution, MSA)等代數不變數理論²³；利用不變數構成的資料庫監測函數，可以用較短的時間、近於常數的時間訪問和檢索資料庫，這些都是解決目標達到即時識別問題的重要方法，本文將逐一運用，進而發現解決這類問題的最佳工具。

肆、辨識結果

由於一個完整的自動目標辨識系統，係由許多演算法所組成，例如影像前處理、目標偵測、影像切割分離、特徵擷取、分類器等。我們特別地對於目標偵測方面進行研究，進而提出一個能達到更正確偵測率的演算法。由於目標偵測在自動目標辨識系統中是一個非常重要的部份，而且亟需一個好的偵測器。自動目標辨識相關模式匹配演算法(ATR relational template matching, ARTM)亦由 Kramer 等學者所提出²⁴。圖五為 ARTM 的範例²⁵，亦即輸入影像如圖五(a)，

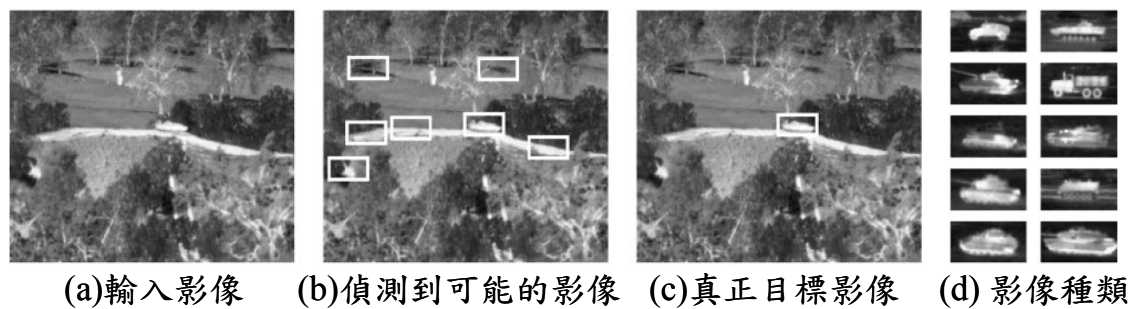
²² Hu, M. K., "Visual Pattern Recognition by Moment Invariants," IRE Transactions on Information Theory, Vol. 8, pp. 179-187, 1962.

²³ Heikkila, J., "Multi-scale autoconvolution for affine invariant pattern recognition," in Proceedings of International Conference Pattern Recognition, Vol. 1, pp. 119-122, 2002.

²⁴ Kramer, A., Perschbacher, D., Johnston, R., and Kipp, T., "Relational Template Matching Algorithm for FLIR Automatic Target Recognition," in Proceedings of the SPIE Architecture, Hardware, and FLIR Issues in ATR, Vol. 1957, pp. 29-37, 1993.

²⁵ L. A. Chan, N. M. Nasrabadi, and D. Torrieri, "Eigenspace transform for automatic clutter rejection," Optical Engineering, pp. 564-573, 2001.

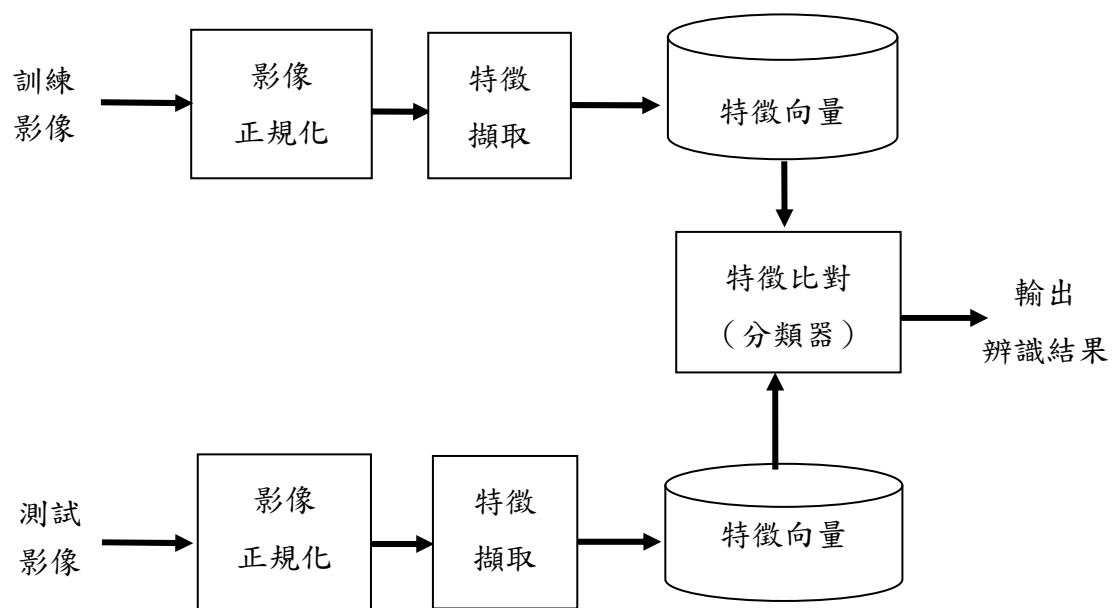
經 ARTM 演算法偵測所獲結果如圖五(b)，圖內小方框區域所顯示為偵測到的可能目標，再經由與目標資料庫影像之種類(如圖五(d))比對後，最後辨識結果就只有一個是真正的目標，如圖五(c)。



圖五 一般自動目標辨識的影像

(資料來源:L. A. Chan, N. M. Nasrabadi, and D. Torrieri, "Eigenspace transform for automatic clutter rejection," Optical Engineering, pp. 564 - 573, 2001.

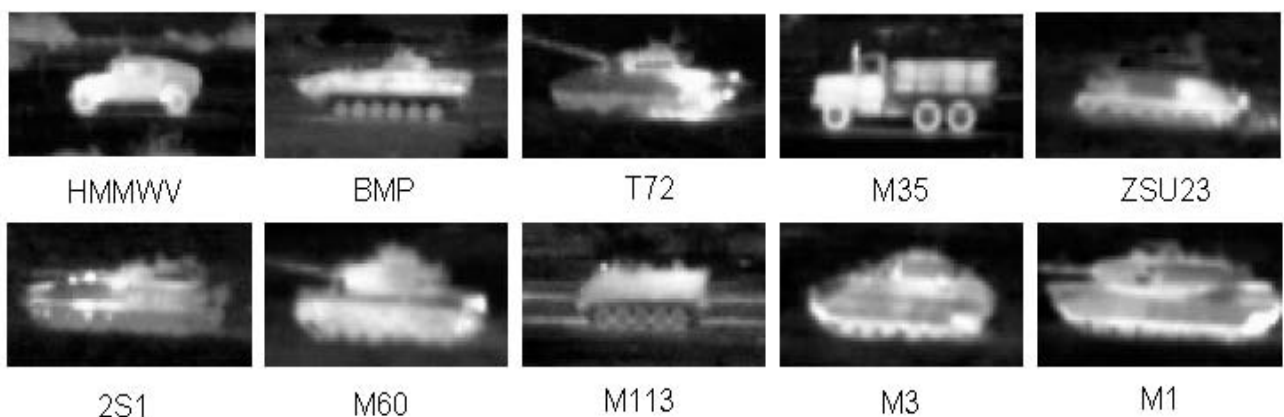
自動目標辨識的架構，主要分為兩個階段，一個是訓練階段，另一個是辨識階段(如圖六)。在訓練階段，由於所獲得的目標影像大小不一，而亮度也不同，所以在進行目標辨識工作前，要先做影像前處理工作，再將整組訓練影像藉由統計分析的方法，將訓練影像的特徵抽取出來，然後對特徵向量作選取，以獲得分類性較佳的特徵向量；所選取的特徵向量，則構成所需的基底影像。經過前處理的訓練影像可利用這組基底影像，對其進行線性轉換並投影到新的子空間(特徵空間)，在此較低維度空間裡的訓練影像則成為比對樣本(就是所謂的標準樣本)。在辨識階段，測試影像經過與訓練階段相同的前處理之後，並藉由基



圖六 目標訓練與辨識流程圖(作者繪製)

底影像的線性轉換，投影到與訓練階段相同的子空間，如此，便形成了測試樣本。我們在開始進行辨識工作前，必須先在分類器(Classifier)上選擇一種相似度或距離的測量方式，然後，將測試樣本和比對樣本輸入到此分類器進行分類，就可以決定測試影像所屬的群組，達到辨識的目的。

圖七²⁶是從紅外線場景影像所獲得的可能目標影像之範例，也就是，戰場場景的影像經利用影像偵測技術，並切割待辨識的目標所獲得。圖八顯示 2DLDA 及 2DPCA 方法的比較結果，當 2DLDA 所選取的維度(d)為 6、2DPCA 的維度(d)為 5 時，可以達到最好的效果，亦可觀察出 2DLDA 的識別率較佳。也使用了相同的資料庫來比較 PCA+LDA、2DLDA、2DPCA、Multi-Scale Auto-convolution (MSA)和 Hu 氏不變矩法(Hu's Moment)等五種方法的辨識率，我們選用歐式距離法實施分類，如圖九所示，計算各別的接收操作曲線(Receive Operating Curve, ROC)的辨識率²⁷；表一顯示出五種方法的辨識率及執行效率，其中以 2DLDA 識別率達 93.83%最佳，另在目標影像的特徵擷取及比對的運算時間上，以 Hu 氏不變矩法(Hu's Moment)為最優，但因不變矩無法正確辨識出目標影像發生方位和姿態的變化，而 MSA 也僅能容許目標產生少許角度上的差異以及些許的變形，故產生較差的目標辨識率。藉由本研究已經發展出一種透過影像處理技術能自動快速辨識目標影像類別及型式之演算法，因此，在本文裡首先運用 2DPCA 與 EST 等轉換方式將所需識別的目標從複雜的自然影像偵測出來之後，使用五種特徵擷取的方法(PCA+LDA、2DLDA、2DPCA、MSA 和 Hu 氏不變矩等)來實施目標識別，最後並利用最近鄰近法來實施分類，其中以 2DLDA 及 2DPCA 這兩種方法的識別率及抗雜訊能力為較佳。



圖七 場景中經影像切割技術所得之待辨識目標

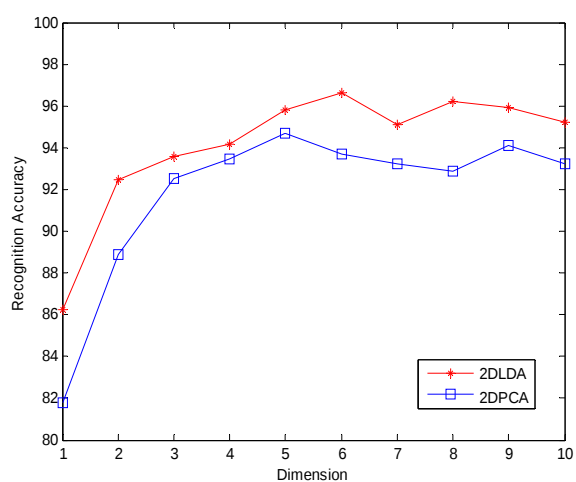
(資料來源：L. A. Chan and N. M. Nasrabadi, Clutter Rejection Using Eigenspace Transformation, August 1999.)

²⁶ L. A. Chan and N. M. Nasrabadi, Clutter Rejection Using Eigenspace Transformation, August 1999.

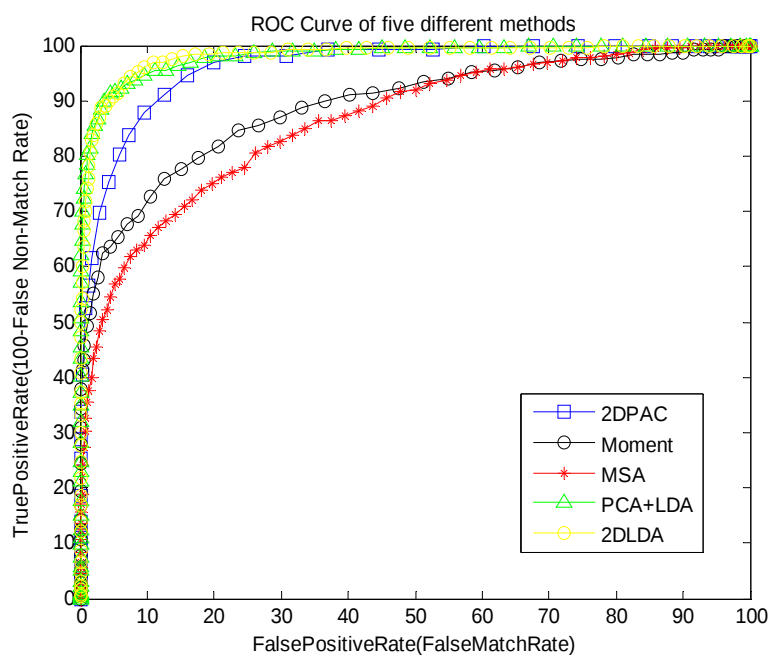
²⁷ Duda, R. O., Hart, P. E., and Stork, D. G., Pattern Classification, Second Edition, Wiley, Canada, 2001.

表一 比較 PCA+LDA 、2DLDA、2DPCA、Hu's Moment 和 MSA 等五種方法辨識率及執行效率（作者繪製）

方法	辨識率（％）	辨識時間（秒）
2DLDA	93.83	0.07
PCA+LDA	93.1	0.26
2DPCA	91.7	0.06
Hu's moment	78.8	0.015
MSA	89.4	1.79



圖八 2DLDA及2DPCA方法比較的結果(作者繪製)



圖九 比較PCA+LDA 、2DLDA、2DPCA、Hu's Moment 和 MSA 等五種方法辨識率(作者繪製)

伍、結論

近年來電子資訊科技的進步，要達到精準火力集中的關鍵，其精準武器已成為現代戰爭不可或缺的攻擊利器，除了光電監視及偵察設備的成像解析度要求外，對於目標自動識別的研究發展，更是有絕對的必要性。由美國防部統計中顯示，在 1991 年波斯灣戰爭結束後約有 39% 的誤傷是由於目標識別錯誤造成的²⁸，過高的誤擊傷亡率促使美國逐漸重視戰場目標識別問題，因此美國國家重點科技小組(National Technological Panel)已將相關演算法的發展列為重點任務²⁹。

發展自動目標辨識技術有助於減輕操作人員的負擔和避免自動化精確導引武器鎖定錯誤目標。對於我國而言，隨著新一代兵力的整建，國軍陸續引進了許多視距外的遠攻武器，因此，戰場目標辨識的問題，成為一個重要的研究課題，所以，未來面對戰場目標辨識的問題，不應自外於發展戰場自動化辨識技術的世界性潮流。現今眾多自動目標辨識演算法的發展，都是植基於最先進的感測器；然而，這些感測器的技術，我國皆尚未能充分地掌握，因此，更需要針對現有的感測器，改良現有的系統，並發展適合我國的自動化辨識技術；本文已成功地運用主值分析法(Principal Components Analysis, PCA)、線性判別分析法(Linear Discriminant Analysis, LDA)及其所延伸的數理演算模式，並設計出一套自動目標辨識系統，可有效增進辨識效能，並能提升全天候作戰能力，有效發揮軍隊的戰鬥能力。如科研單位能加以運用，才能讓有限的國防資源發揮最大的效益。

²⁸ <http://wstiac.iitri.org/Bulletins/BULL201.html> .

²⁹ http://cis.jhu.edu/wu_research/tracking.html .