

植基於隱匿式馬可夫模式之軍事影像分類法研究

李奇奎[†] 左杰官[‡]

[†]海軍左營基地資訊官

[‡]國防大學管理學院資訊管理學系副教授

摘 要

影像擷取在近年來和文字資訊一樣成為網際網路普及之後的一門顯學，本研究將針對軍事圖資進行主要研究對象，逐步蒐集網路上具授權性之軍事圖資，進行多解析度特徵值擷取及正規化等前置處理後，將配合所開發之觀測密度及序列調整式隱匿馬可夫模式(HMM)進行圖像自動歸屬分類研究，以軍事圖資為例，可區分為飛機、船艦、潛艇、坦克等。經研究發現，本研究所研提之觀測序列調整法可成功將二維影像納入一維隱匿式馬可夫模式中，本研究完成後將可成為我國防軍情蒐集重要之一環。

關鍵詞：內容服務、影像擷取、隱匿式馬可夫、軍事圖資

國防相關應用：本研究之方法可作為軍事影像自動判釋之一環，在軍事應用之情報領域及目標辨識上皆有實際助益，並可改善傳統人工作業耗時之缺失，本系統亦可作為軍事數位圖書館之一部份。

A Study of Hidden Markov Model Based Methodology for Military Imagery Classification

C. K. Lee[†] Brandt Tso[‡]

[†]Cho-Ying Naval Base Information Officer

[‡]Associate Professor, Department of Information Science, Management College NDU

ABSTRACT

Image retrieval has shared the same importance as information extraction in recent year to become a significant research ground. This research therefore concentrates on developing new methodologies in image retrieval field. This study will be focused on military imagery. The imagery are obtained from the web with authorization. A pre-processing step is applied to these imagery to extract image characteristics and to perform image normalizations. In this research, we will concentrate on developing observation-sequence and observation-density methodology to automatically achieve imagery classification. In the case of military imagery classifications, the imagery are classified into airplane, boat, submarine, and tanks. The results show that the developed observation-sequence approach can successfully arrange two-dimensional imagery into one-dimensional hidden Markov model. This research once completed will become an important part in national defense intelligence collection.

Keywords: content service; image retrieval; hidden Markov model; military image

Relevance to National Defense: The methodology proposed in this study can support military imagery classification automatically. The applications can also be extended to military intelligence and target identifications. The automatic nature of proposed approach can improve the drawback of time-consuming caused by man-made process. The system, once complete can become part of military digital library.

壹、前言

隨著網際網路蓬勃的發展，資料不斷地更新與複雜化，以及各系統資料庫的資料琳瑯滿目，使得資料檢索者在使用搜尋引擎檢索資料後，尚需對搜尋到的大量資料進行篩選，方能從中獲得符合所需的資訊，此項問題凸顯出網路資訊獲得的過程中，尚需更精確的資訊擷取技術始能滿足使用者的需求，俾利有效地節省人力及時間成本。

傳統上，網際網路之資料蒐尋皆以文字處理為主軸，即使用者輸入所欲查詢之關鍵字，搜尋引擎即依據該等關鍵字詞進行網頁比對並列出搜尋結果。隨著多媒體時代的來臨，大量的多媒體資訊被廣泛地運用，如何有效率地管理、組織以及使用多媒體資訊已經成為人們所關注的問題，而圖像為多媒體資訊的一種主要形式，使用者對於網際網路之查詢需求已不再限於文字檔，近年來，有愈來愈明顯的趨勢顯示（Pass et al., 1996; Cox et al., 2000; Li and Wang, 2003），圖片搜尋，特別是以圖像內容之影像搜尋擷取（content based image retrieval-CBIR）及數位圖像內容服務（digital imagery content service），亦成為應用的主流之一，因此成為資訊擷取研究領域中之一門顯學 Wang et al. (2005)。

所謂基於圖像內容之影像擷取（CBIR）技術，係利用人類視覺所感知之影像內容從資料庫（或網際網路）中搜尋使用者所感興趣之圖像，此等技術之發展最早可追

溯至 1970 年代（Blaser, 1979），早期技術並非針對影像內容，而是基於資料庫中對該等影像之文字描述進行擷取（Tamura and Yakoya, 1984; Chang et al., 1992），此等技術係利用傳統資料庫技術對影像之擷取需求進行管理，於資料庫中透過對於影像之文字描述，影像可依其主題或內含意義而進行階層式架構之構建以便於回應查詢需求，然而由於對於影像之標注往往需採人工作業，相當地耗時且沒有一定標準可循，故此等基於影像文字之擷取技術往往無法滿足使用者多變的需求。

鑑於上述限制，美國科會於 1992 年開始對於影像內含資訊進行相關研究（Jain, 1998），該等研究發現對於影像擷取及處理最具彈性之方法係直接藉由對於影像內容特徵進行管理而非仰賴影像之文字描述，並獲得廣大之迴響，相關研究之技術探討可參閱 Rui et al. (1999) 及 Smeulders (2000)。進一步而言，基於圖像內容之擷取技術相較於依賴圖像標注關鍵詞描述之檢索方式具有以下特點：

- (1) 擴大影像特徵查詢範圍：可基於圖像色譜、紋理、及區域形狀進行查詢，而不再侷限於關鍵字詞描述；
- (2) 相似性（similarity）匹配查詢：植基於圖像內容檢索一般係按照輸入之影像特徵值配合相關演算法進行相似性計算，並將滿足一定相似性之圖像依相似程度排列，此和傳統之依賴標注關鍵字進行精確之匹配計算有很大的不同；

(3)使用者回饋方式查詢：當使用者使用 CBIR 查詢並獲得系統顯示初次查詢成果後，使用者可依據該等查詢結果進行回饋，將所示之圖像選取較符合或不符合之圖像集，系統將根據該等回饋結果進行更精的查詢回應，以滿足使用者需求，如圖 1 所示。

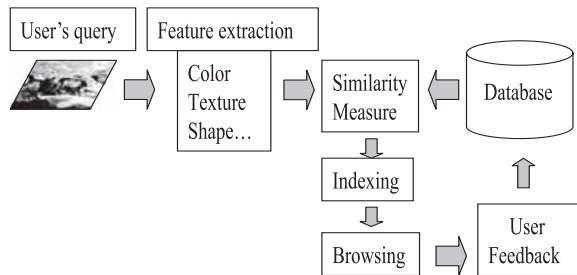


圖 1 植基於圖像內容檢索之基本概念

貳、文獻探討

一、影像內容擷取 (CBIR)

以影像內容為查詢基礎 (content based image retrieval, CBIR) 的技術，是近幾年來相當熱門的研究議題，資訊技術日新月異，數位影像擷取器材 (如數位相機、印表機、掃描器、數位攝影機等) 品質及技術日益進步，因此數位化影像資料大量的成長；網際網路的普及也使得數位影像的流通更加方便。而對於這些數位影像中資訊擷取的技術也越來越多，以內容為基礎的影像擷取 (CBIR) 成為學者相繼投入研究的領域。

(一)顏色 (color)

色彩 (color) 是影像特徵擷取中常用的一項重要特徵，通常是使用影像的整體 (global) 色彩特質。每一張數位影像，都可以看成是由許多色點集合起來的。在影像上之每個像素可表示於三維之顏色空間內，一般所使用之顏色空間包含 RGB、CIE-LUV、CIE-LAB、HSV 等等，無論用何種顏色空間進行特徵值擷取並進行影像查詢時，我們需注意的是影像間之顏色空間一致性 (uniformity)，此等 "

一致性" 意謂不同圖像之色彩空間對觀視者而言其心理感受度必須一致 (psychological similarity) (Mathias 1998)，在此種考量之下，CIE-LUV 及 CIE-LAB 是較佳的選擇，由 RGB 轉換為 CIE-LUV、CIE-LAB 之方法請參閱 (Jain, 1989)。CIE-LAB 是依據人類看到的顏色為準，這個色彩模型是致力於建立全方位照明標準的「國際照明委員會 (CIE)」，所制定的其中一種模型。LAB 中的數值描述了人類用正常視力能看到的所有顏色。因為 LAB 描述的是色彩的外觀而不是需要多少的特定染色劑才能讓裝置 (例如螢幕、桌上型印表機或數位相機) 產生色彩，所以 LAB 被視為一種與裝置無關的色彩模型。色彩管理系統會將 LAB 當作一種色表參考，以便如預計地將色彩從一個色域轉到其他色域。LAB 會以明度或明亮度 L 元件和兩個色差元件來描述色彩：A 元件 (綠色和紅色) 和 B 元件 (藍色和黃色)。儘管利用色彩特徵值是較直接的方式，其最大的缺點為無法鏈結影像內色彩分佈之空間訊息，學者如 Pass et al. (1996) 及 Stricker and Orengo (1995) 曾提出相關改進方法，但僅利用色彩進行影像匹配效果有限。

(二)紋理 (texture)

所謂紋理可視為影像中各像素彼此間互存之關係 (Tso and Mather, 2001)，一般在人類視覺感知可表示為其粗糙程度、對比程度，方向度等等，而學者 Haralick (1973) 灰階共生矩陣 (Grey level co-occurrence matrix) 及小波轉換 (wavelet transform) 當推最常為研究者所使用且具有良好效果之影像紋理擷取方法 (Chang and Kuo, 1993; Manjunath and Ma, 2002)。紋理對於軍事武器來說往往也是重要的辨識關鍵之一，原因在於有許多的武器具有類似的外觀，兩個武器之間可能是同樣的顏色或是相似的外觀，但差異點只在物體

表面是否有相同的粗糙程度、對比程度，方向度等等。

小波轉換以 $x[n]$ 來表示原始數列， $y_L[n]$ 以及 $y_H[n]$ 分別表示低頻數列以及高頻數列， $h[n]$ 以及 $g[n]$ 分別代表低頻分析、高頻分析二個濾波器的濾波器數列，吾人可以根據下述(1)、(2)式來進行小波分解的運算，(1)式是低頻分析的計算，(2)式是高頻分析的計算。而一影像進行小波轉換時，先行以橫向進行轉換，得到 L 及 H 頻段，之後，再套用縱向轉換，即可得到四個頻帶 (LLk、HLk、LHk、HHk, $k=1,2,\dots,n$)，其中 LL 表示近似影像，HL 表示水平部分，LH 表示垂直部分，HH 表示對角部分， k 表示幾階層。下一層的小波轉換即利用上一層之近似影像 (LL1)，再分解成四個頻帶。

$$y_L[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k] \cdot h[n-k] \quad (1)$$

$$y_H[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x[k] \cdot g[n-k] \quad (2)$$

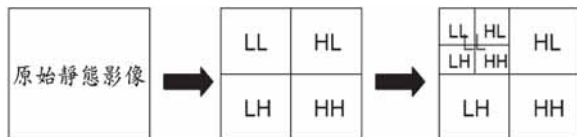


圖 2 二維離散小波轉換示意圖

(三)形狀 (shape)

形狀也是常用來描述影像中內容的角度 (View Point)，在此我們只討論二維物件及武器邊緣的形狀，對於三維物件的形狀，其必要性對本研究的影響不大，故暫不做討論。此種方法係對一影像進行初步之群聚，藉以便於發掘影像內物件，並利用相關演算法對於物件之形狀進行粹取，進而提供比對依據，Eakins (1996) 提出對影像內物件形狀進行簡易索引表示法，利用兩種函數對影像形狀進行分類，而 Jain (1989) 利用封閉直線描述形狀，接著依據線段斜率進行相似度計算，近年來更有如 Chen et al. (2006) 利用影像內

物件形狀結合新開發之演算法進行影像擷取研究。

(四)特徵擷取 (feature extraction)

在瞭解了各項以內容為基礎的影像特徵後，接著必須針對這些特徵的擷取進行討論。由於前述基於影像內容之檢索，無論是利用影像色彩、影像紋理、亦或是影像內物件外形，其單一特徵類別所能發揮之檢索效果皆十分有限，故近年來之趨勢係利用上述所有特徵值之組合，配合適當演算法之開發，俾精進圖像檢索，相關研究如 Wang et al. (2005) 及 Li and Wang (2003) 等，皆獲致不錯的檢索效果。

二、隱匿式馬可夫模式

(一)隱匿式馬可夫模式的基本理論

HMM 是由俄羅斯數學家 Andrei Markov 在 20 世紀初提出有關於連續事件的理論，馬可夫假設對任何連續事件的發生機率，是由前一事件來決定現在的狀態，而與之前的事件狀態無關，稱之為馬可夫模式。

假設一連續事件以馬可夫模式來說明該連續狀態，當預測下一狀態的變化只需要考慮前一事件時，我們以下列方式表示： $(X_n, n \geq 0)$ 表示一隨機過程，當 $t+1$ 狀態只考慮 t 狀態，而與其他先前的時間狀態無關，其發生機率即為：

$$P(X_{t+1} = s_{t+1} | X_1 = s_1, X_2 = s_2, \dots, X_n = s_n) = P$$

$$(X_{t+1} = s_{t+1} | X_t = s_t);$$

$$X = (X_1, X_2, \dots, X_n), S = (s_1, s_2, \dots, s_n)$$

其中連續變數為 X ，其內容為一有限的狀態 S ，當 X_{t+1} 時發生狀態 s_{t+1} 的機率，是由連續狀態 X_t 決定 X_{t+1} 狀態出現機率，直到連續事件的最後狀態，連續狀態 X 即為一馬可夫鏈。馬可夫鏈可由矩陣 A 來描述所有狀態的轉換機率， a_{ij} 表示相對位置之 s_i 狀態到 s_j 狀態的機率，可以條件機率表示： $a_{ij} = P(X_{t+1} = s_j | X_t = s_i)$ ； $1 \leq i, j \leq n$ 。另外還需要知道起始狀態，起始狀態機率設定為 1，並以 π 表示： $\pi_i = P$

($X_t=S_i$)，且 $\sum \pi_i=1$ 。從以上表示狀態，馬可夫模式可以用圖 3 表示：

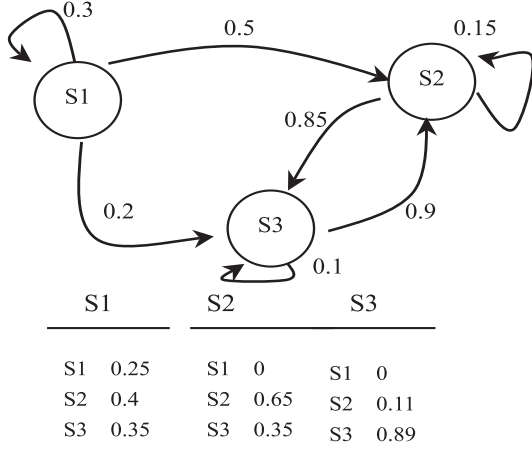


圖 3 馬可夫模式狀態及轉換

圖 3 馬可夫模式為一有限狀態機，每個狀態間轉換都有一個的轉換機率，每個狀態的出現，都有一確定的顯示標示 s ，每一狀態的轉換機率合為 1。基於以上模式 Rabiner (1989) 提出進一步延伸，如果在每個狀態將輸出不同的標示時，就可以得到另一關係機率， S 狀態也就會產生一組輸出標示機率和一組轉換機率，現在的連續變數 X ，將在輸出機率下出現的連續狀態，所以也可能出現同樣的標示，因此，可以從連續的實際狀態產生出機率函式。這種模式稱之為隱匿式馬可夫模式 (HMM)，實際連續狀態的輸出是由狀態的下一層（稱為隱匿層）所決定。

HMM 係由以下變數組成：

S = HMM 的狀態數； $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$

X = 隱匿狀態的序列； $X = \{x_1, x_2, \dots, x_T\}$ ， $1 \leq x_t \leq n, 1 \leq t \leq T$ 。

O = 可觀察的輸出序列； $O = \{o_1, o_2, \dots, o_m\}$
• 起始狀態機率；

A = 狀態間轉換機率矩陣； $A = \{a_{ij}\}$, $a_{ij} = P(s_j \text{ at } t+1 | s_i \text{ at } t)$, $1 \leq i, j \leq n$, 表示從狀態 i 轉換到 j 的機率，且滿足 $a_{ij} \geq 0, \sum_{k=1}^M a_{ij}=1$

B = 可觀察輸出機率矩陣 $B = \{b(k)\}$, $= P(o_k \text{ at } t | s_j \text{ at } t)$, $1 \leq j \leq n, 1 \leq k \leq M$ 表示

在狀態 j 顯示 o_k 的機率，並滿足

$$\sum_{k=1}^M b_j(k)=1$$

(三) 觀測密度及序列調整法

經由前述說明可知隱匿式馬可夫模式之參數計算受觀測值 $O = \{o_1, o_2, \dots, o_n\}$ 影響甚大，若吾人在進行影像處理時，能適度地透過對於觀測值 O 之調控，則將可達到吾人預期之透過隱匿式馬可夫模式對影像進行意義 (semantic) 模式建構，經由 Tso and Olsen (2005) 研究發現，可透過觀測密度 (observation-density) 調整及觀測序列 (observation sequence) 調整法，可嘗試將一維隱匿式馬可夫模式套用於二維之影像。

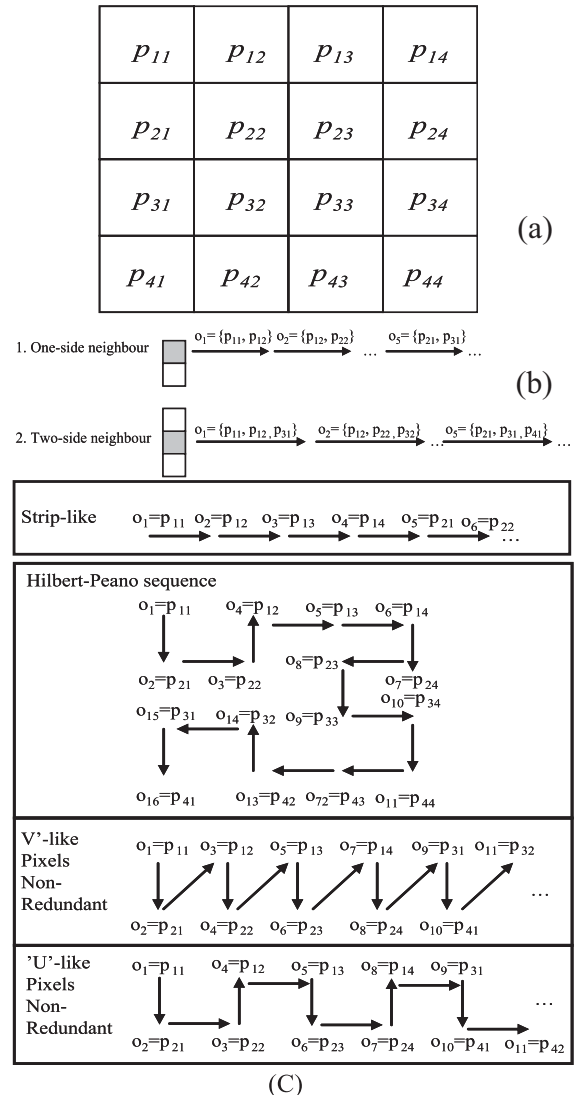


圖 4 觀測序列及觀測密度調整

圖 4 所示之概念即是透過將觀測序列及觀測密度進行調整，俾將二維影像脈絡資訊能成功地納入隱匿式馬可夫模式中，於圖 4(a)中所示為一 4x4 之影像，在(b)中所示即為透過橫式走訪但將觀測密度改變（包含前一行或前後各一行）將可使一維隱匿式馬可夫模式成功地運用於二維影像模擬，而在(c)中所示第一列即為傳統之一維隱匿式馬可夫模式套用於二維影像之直接作法即橫式走訪（strip-like），而在(c)中其它區塊所示即為觀測序列調整方式。經由前置實驗證明，觀測密度調整法及 U 型走訪之觀測序列調整法較為成功亦將為本研究所採用。

二、圖資分類架構

使用於本研究之圖資將利用影像處理軟體進行基本之去雜訊及標準化大小格式處理成 256 (列) × 384 (行)，或 384 (列) × 256 (行) 之 JPEG 檔案，並進行影像特徵值擷取，每張影像將先透過小波轉換（wavelet transform）Daubechies, 1992; Unser, 1995）將影像進行多解析度之分存（預擬三層，即小波轉換之 LL band），俾提供研究方法驗證，於每一解析度中之每張影像於擷取特徵值前將先合併 4*4 像素，俾節省計算空間 (Wang et al., 2005)，本研究將針對每一 4×4 像素區塊進行特徵值擷取，預擬擷取之影像特徵值包括（前置處理如圖 5 所示）：

- (a) LAB 會以明度或明亮度 L 元件和兩個色差元件來描述色彩：A 元件（綠色和紅色）和 B 元件（藍色和黃色）：LAB 模式經國際照明委員會研究 (CIE, 1976) 可表現類似人類色感。
- (b) 小波轉換之 LH, HL, 及 HH band：小波轉換所獲得之參數已證明和影像紋理具有高度相關性 Unser (1995)。此等小波轉換特徵值在對每一 4*4 像素區塊進行擷取處理之後，每個 band 將有四個像素點，本研究將對該 4 像素

點進行如下之處理，俾確保資訊之完

$$\text{整性。} \sum_{i=1}^4 p_i^2 / 4 \quad (3)$$

(c) 於影像特徵值擷取完成之後，本研究將對各解析度之每張影像運用 Tso and Olsen (2005) 含二維影像資訊之一階隱匿式馬可夫模式架構，進行影像內含意義 (semantic) 之模式化建構，此一階段之處理具有以下兩種目的：

- (i) 運用隱匿式馬可夫模式將原始影像進行具有區塊性的非監督式分類，俾使原始影像先行群聚成數個子區域，以進行後續研究之用，由 Tso and Olsen (2005) 研究顯示，該等群聚方式可大幅改善傳統 k-mean 集群時因無法考慮影像脈絡 (context) 資訊，而導致群聚結果散亂無法成塊之情況，且所使用之處理負荷較 Li and Wang (2003) 所研發之二維隱匿式馬可夫模式精簡。
- (ii) 運用隱匿式馬可夫模式對一影像之各解析度進行影像意義模擬，再透過多層解析度資訊融合 (multiresolution information fusion) Tso and Olsen (2005)，配合模式計算出 likelihood 俾進行影像相似度判斷。

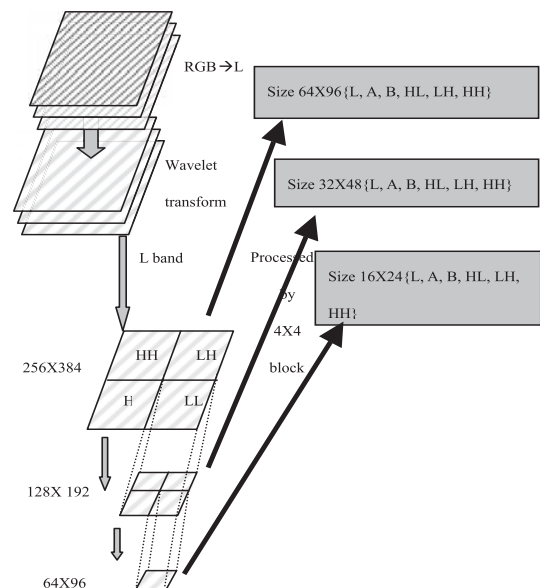


圖 5 圖資前置處理

參、實驗結果分析

本研究程式開發語言為 MATLAB6.5 版，圖資來源為網際網路上合法授權性之圖像，先行蒐集約 1,000 張圖資俾供進行實驗暨驗證之用，並以上述橫式走訪、觀測密度及序列調整隱匿式馬可夫模式進行訓練，本實驗初步將圖像區分成飛機、船艦、潛艇及坦克等四類，再將每個類別的外型特徵上做細分，以相同機型和相同拍攝角度為一組做訓練，並以各類別 30 張圖像 4 個類別共 120 張做測試，經由實驗結果顯示以 LAB 及 HL 之 4 個特徵值組合做分類的成功率最高，搭配觀測序列調整隱匿式馬可夫模式測試，在 64×96 解析度下分類成功率飛機可達 86.7% 船艦 93.3% 潛艇 83.3% 坦克 60%，本研究僅

表 1 橫式走訪 HMM 在 64×96 解析度下

類別 特徵值	飛機	船艦	潛艇	坦克
LAB	23.3%	26.7%	20%	23.3%
LAB、HL	46.7%	50%	53.3%	53.3%
LAB、LH	36.7%	40%	33.3%	36.7%
LAB、HH	33.3%	33.3%	30%	36.7%
LAB、HL、LH	40%	36.7%	43.3%	33.3%
LAB、HL、HH	36.7%	43.3%	40%	36.7%
LAB、LH、HH	43.3%	40%	36.7%	33.3%
LAB、LH、HL、HH	43.3%	40%	36.7%	46.7%

列舉在 64×96 解析度下三種 HMM 訓練後測試結果如下表 1.2.3 所示，由表中可以發現，在 64×96 之解析度中以本研究所提出之觀測序列調整法最為成功，而傳統之橫式走訪及觀測密度調整法則不盡理想，故而本研究驗證所提觀測序列走訪方法可成功地將二維影像資訊納入隱匿式馬可夫模式中。

表 2 觀測密度調整 HMM 在 64×96 解析度

類別 特徵值	飛機	船艦	潛艇	坦克
LAB	33.3%	46.7%	30%	33.3%
LAB、HL	56.7%	63.3%	53.3%	66.7%
LAB、LH	50%	46.7%	53.3%	46.7%
LAB、HH	43.3%	53.3%	50%	40%
LAB、HL、LH	36.7%	40%	33.3%	36.7%
LAB、HL、HH	26.7%	36.7%	33.3%	30%
LAB、LH、HH	33.3%	36.7%	40%	43.3%
LAB、LH、HL、HH	40%	36.7%	33.3%	36.7%

表 3 觀測序列調整 HMM 在 64×96 解析度下

類別 特徵值	飛機	船艦	潛艇	坦克
LAB	46.7%	43.3%	40%	53.3%
LAB、HL	86.7%	93.3%	60%	83.3%
LAB、LH	73.3%	70%	53.5%	66.7%
LAB、HH	70%	66.7%	43.3%	63.3%
LAB、HL、LH	63.3%	63.3%	40%	70%
LAB、HL、HH	66.7%	60%	43.3%	63.3%
LAB、LH、HH	60%	53.3%	50%	56.7%
LAB、LH、HL、HH	56.7%	53.3%	53.3%	60%

肆、結論及未來研究方向

資訊技術日新月異，數位影像擷取器材（如數位相機、印表機、掃描器、數位攝影機等）品質及技術日益進步，因此數位化影像資料大量的成長；網際網路的普及也使得數位影像的流通更加方便，這些原因使得人們對於影像資訊擷取的需求也越來越大。本研究所採用之觀測密度及序列調整式隱匿馬可夫模式（HMM）進行圖像分類的研究，經實驗證明可以成功分類圖像類別。在國防的範疇中，經常性、持續性的工作就是對於情報資源的有效且持續性的蒐集及管理，本研究以軍事圖資為目標，試圖在國防情報領域中，開發出具強效性之圖資檢索系統，嘗試開發在軍事圖資領域之相關圖資擷取方法及系統，所開發之方法及建構之系統除可成為數位博物館之一環，亦可持續支援國防部作為建軍備戰之參考。

參考文獻

- Blaser, A., 1979. Database Techniques for Pictorial Applications, *Lecture Notes in Computer Science*, 81, 61-78.
- Chang, S. K. and A. Hsu, 1992. Image information systems: where do we go from here, *IEEE Trans. On Knowledge and Data Engineering*, 5(5), 431-442.
- Chang, T., and Kuo, J., 1993. Texture analysis and classification with tree-structured wavelet transform, *IEEE Trans on Image Processing*, 429-441.
- Chen, Y., J. Bi, and J. Z. Wang, 2006. MILES: Multiple-instance learning via embedded instance selection, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 28(12), 1-17.
- Cox, I. J., M. L. Miller, T. P. Minka, T. Papanicolaou, and P. N. Yianilos, 2000. The Bayesian image retrieval system, PicHunter: Theory, implementation, and psychophysical experiments, *IEEE Trans. on Image Processing*, 9(1), 20-37.
- Daubechies, I., 1992. *Ten Lectures on Wavelets*. Philadelphia, SIAM.
- Eakin, A., 1996. A shape retrieval system based on boundary family index. *Proc of SPIE: Storage and Retrieval for Image and Video Database*, 17-28.
- Haralick, R. M., 1973. Textural feature for image classification. *IEEE Trans. On Systems, Man, Cybernetics*, 610-621.
- Jain, A. K., 1989. *Fundamental of Digital Image Processing*, Englewood Cliffs, Prentice Hall.
- Jain, A. K., 1998. Shape-based retrieval: A case study with trademark image database, *Pattern Recog.*, 1369-1390.
- Mathias, E., 1998. Comparing the influence of color spaces and metrics in content-based image retrieval, *Proceedings of International Symposium on Computer Graphics, Image Processing, and Vision*, 371 -378.
- Stricker, M.A., and M. Orengo, 1995. Similarity of color images. *Proc. SPIE: Storage and Retrieval for Image and Video Database III*, 381-392.
- Li, J., and J. Z. Wang, 2003. Automatic linguistic indexing of pictures by a statistical modeling approach, *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, 25 (9), 1075-1088.
- Manjunath, B. S., and M. Y. Ma, 2002. Texture features for image retrieval. *Image Databases search and Retrieval of Digital Imagery*, 313-344.
- Pass, G., R. Zabith, and J. Miller, 1996. Comparing images using color coherence vectors,

- Proceeding of ACM International Conference of Multimedia*, 34-40.
- Rabiner L.R., 1989. A tutorial on hidden markov models and selected applications in speech recognition, *Proceedings of the IEEE*, 77 (2) .
- Rui, Y., T. S. Huang, and S. F. Chang, 1999. Image retrieval: current techniques, promising directions and open issues, *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 10, 39-62.
- Smeulders, A. M. W., M. Worring, and S. Santini, 2000. A. Gupta, and R. Jain, Content-based image retrieval at the end of the early years, *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 22(12), 1349-1380.
- Tamura, H., and N. Yokoya, 1984. Image database systems: A survey, *Pattern Recognition*, 17(1), 29-43.
- Tso, B., and P. M. Mather, 2001. *Classification Methods for Remotely Sensed Data*, Taylor and Francis, London, UK.
- Tso, B, and R.C. Olsen, 2005. Unsupervised classification of remote sensing imagery using HMM, *International Journal of Remote Sensing*, 26 (10) , 2113-2133.
- Unser, M., 1995. Texture Classification and Segmentation Using Wavelet Frames, *IEEE Trans. Image Processing*, 4(11), 1549-1560.
- Wang, J. G., Neskovic, P., and Cooper, L. N., 2005. Training data selection for support vector machines, *Lecture Notes in Computer Science*, 3610, 554-564.

