

以位元取代為基礎之數位浮水印強韌性探討

張世燕

真理大學資訊管理學系

李曉琪

真理大學資訊管理學系

鄒佳芳

真理大學資訊管理學系

王怡琳

真理大學資訊管理學系

謝明興

真理大學副教授

摘要

隨著網際網路的發展日新月異，使得資料存在形式逐漸由實體化轉成數位化，而數位資料的傳輸運用變得更便利及重要，對於多媒體資料的安全性，形成一個極大的挑戰，進而有數位浮水印相關技術的提出。近年來很多研究者探討浮水印應用於影像上的方法，一般論文較少探討各波段高低頻與嵌入位元高低之間的關係，而我們利用波段高低頻的不同，分別改變嵌入位元的高低，來判別出執行成效的好壞，並選擇所需要嵌入之位元，是否能得到最佳的執行成效，在經過多次測試的結果及壓縮攻擊下，選出較佳的嵌入位元位置，使數位影像資訊的浮水印需符合不易察覺(Invisible)、明確性(Unambiguous)、強韌性(Robustness)、抵抗破壞(Tamper-resistance)等特性。

關鍵詞：數位浮水印 離散小波轉換、濾波器、位元取代。

一、前言

在數位多媒體資訊越來越普及的同時，非經授權的複製與使用也日益猖獗。就傳統的類比資料而言，盜竊者要模仿一幅畫，必須耗費許多成本，但是，對於數位化的影像，盜竊者只須要使用簡單的拷貝動作就可以得到相同的複製版本，對原始創作者來說卻是一大打擊。這樣的非法使用再加上透過網路無限制地傳播，不但造成許多法律爭端，也產生了許多安全上的問題，例如，智慧財產權的問題。

因此數位資訊的智慧財產權的保護在近幾年來成為一個非常迫切的議題，而數位浮水印(Digital Watermark)的使用則是設計用來解決此智慧財產權爭議的一項重要技術。數位浮水印技術是指原創者將一個可以證明自己著作權的浮水印嵌入(Embedding)多媒體資料中，萬一發生著作權爭議時，便將浮水印取出(Extracting)以證明自己是合法的擁有者。

數位浮水印是資訊隱藏的一種形式，資訊隱藏是將資訊本身的存在性隱藏起來，讓人無法察覺，它並不是去限制或控制原始數位媒體的信號，而是將一些智慧財產權的資訊隱藏在

數位媒體中，以作為版權擁有者作品的辨識。然而利用傳統密碼學所加密後的資料，雖然看不出來其亂碼的意義，但在網路上傳遞一串亂碼並不安全，因為這串訊息等於是告訴駭客其中隱藏了祕密的訊息，也易引起別人對於密文的突兀性感到興趣，且被解密後的資料完全失去保護功能；而經由數位浮水印技術後，一般人肉眼是無法看出其變化，相對地對數位媒體的保護性較高，且利用數位浮水印技術隱藏訊息，這些訊息為有意義的資料，如原著作者的圖騰，與傳統密碼學比較下，能降低駭客破解的機密資料的動機。

二、浮水印文獻探討

影像浮水印的技術可分別在空間領域(spatial domain)中或是在頻率領域(frequency domain)中加入浮水印。

2-1 空間領域

空間領域是指影像的位置所組合而成的集合或由影像像素(Image pixel)所組合而成的集合，因此，所謂空間域的方法就是直接對影像的位置或像素值作調整與修改。例如對於一張彩色影像，像素資訊就是其每點的分佈於三維色彩空間的色彩值。對於一張灰階影像而言，其像素資訊收斂成一維的灰階值。由於此方法通常是將浮水印以點對點的方式嵌入於原圖中，因此基於空間域的數位影像浮水印最大的缺點就是盜竊者可經由簡單的加工方式(例如影像裁切)來破壞浮水印。

早期影像浮水印的研究[2,5,10,12,13,17,18,23,24]大都是空間領域的嵌入技術。最低位元嵌入法(least significant bit, LSB)[13]是最早被開發出來，也是使用最為廣泛的嵌入技術，這個技術用一組二位元序列當作浮水印，其長度剛好等於影像中像素的個數。嵌入的方法是將原始灰階影像的最低位元去掉，然後以相對應位置的浮水印位元取代，每個像素嵌入一個位元，這種方法對嵌入後的影像品質影響最小，其嵌入容量為影像檔案大小的八分之一。另外為了提高最低位元嵌入法的容量，因此有研究提出，對每個像素嵌入一個以上位元的資訊量藉以增加嵌入的容量。但此法若嵌入過多的位元資訊量則會造成嵌入後影像品質變得較差，所以在嵌入資訊量的同時必須輔以其它技術來增加其隱蔽性。另外，也有最低位元嵌入法[19]是先考慮每個像素本

身的特性，再決定要在每個像素嵌入多少位元的資訊量，稱之為可變性最低位元嵌入法。通常最低位元嵌入法主要的缺點是缺乏強健性，只要將影像中最低位元處幾個位元任意改變其數值，便可破壞嵌入的浮水印。

如[3,4,16]等文獻是在空間領域中加入浮水印，但所遭受到影像處理攻擊之抵抗能力較差，[4,11,21]則改善了[3,4,16]面對影像壓縮及濾波(filtering)攻擊的缺點。

2-2 頻率領域

頻率領域的數位浮水印技術通常先將原圖轉換到頻率域上，再選擇不同頻帶的係數來嵌入浮水印。因為人眼對於影像的高頻與低頻成份有不同的敏感度，頻率域的方法能以更符合人眼的特性來嵌入浮水印。對於空間域而言，嵌入於頻率域的浮水印資訊是散佈在空間域中，盜竊者無法明確地指出浮水印是隱藏在哪些像素中。也因此基於頻率域的數位浮水印較能抵抗裁切等來自空間域的攻擊。

Koch & Zhao[7]提出頻率領域的浮水印技術，可說是頻率領域浮水印的先驅。他們採用區塊為基礎的頻域轉換方式，也就是將影像分割成不相重疊的區塊，然後隨機選擇一些區塊作離散餘弦轉換後，再將浮水印嵌入中頻位置的係數。基本上將浮水印嵌入中頻位置是很直覺性的作法，因為對影像而言，更改高頻的係數項時，在視覺上較不容易被察覺而隱藏度高，但面對壓縮攻擊時，高頻的係數項容易被量化掉，因此將浮水印嵌入高頻的係數位置，抵抗能力較弱，強健性不足。

Podilchuk[15]則利用在影像壓縮領域所發展出來的視覺模型作為隱藏浮水印的方法，它使用的視覺模型可以在不影響視覺品質的前提下去計算影像中每個部份可以容忍的最大浮水印訊號數量和位置，預先計算影像中容忍的最大浮水印訊號數量及位置，就能夠提供浮水印的最大強韌度，它更進一步的對於展頻技術(SS)，適應性的離散餘弦轉換(Image-Adaptive DCT)和適應性的小波轉換(Image-Adaptive Wavelet)幾種隱藏浮水印的方法做了比較。

Kim 在 1999 年時提出離散小波轉換(DWT)為基礎的數位浮水印[9]浮水印必須加在影像中最重要的部分，也就是加在小波轉換後係數值大的地方，同時應用展頻的概念，把浮水印散佈在各個頻帶成分上。浮水印個數與次頻帶能量成正比，次頻帶的能量越大，表示其資訊越重要，而為了避免浮水印被破壞，浮水印並不加入最高頻的 LH_1 、 HL_1 、 HH_1 的次頻帶。

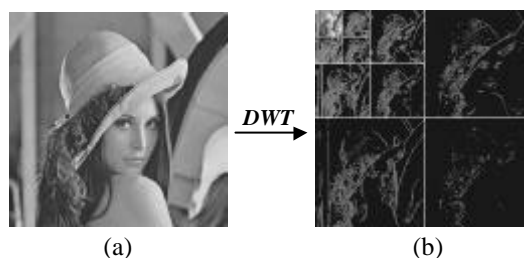
目前的數位浮水印技術大多採用頻率領域，主要利用 DCT 及 Wavelet 做訊號轉換，如 [6,7,20] 是使用 DCT 的方法，此外由 [8,14,22]

中所提出的結果顯示，利用 DWT 技術對影像做處理，在浮水印的不易察覺性及強韌度特性上，都有優於 DCT 技術上的表現。

三、小波轉換

小波轉換最大特點就是其視窗大小不是固定的，並且改善短時間傅利葉轉換利用固定長度視窗，處理分析訊號上的缺點，小波轉換是在同一個視窗中，使用較少的資料點去分析低頻，用較多的資料點去分析高頻，因此，隨著訊號頻率的改變，視窗的大小也會跟著改變，將訊號高低頻的特性充分表現出來。

小波轉換有三種形式，分別為連續小波轉換(continuous wavelet transform, CWT)，小波級數展開式(wavelet series expansion)和離散小波轉換(discrete wavelet transform, DWT)，其中以最為普遍應用的 DWT 來探討。



圖一 為 DWT 的例子。(a)為一張 *Lenna* 圖的原始影像。(b)經過 DWT 分解後的波段。

Lenna 圖經由小波轉換後其頻帶間的關係，由低頻至高中頻到高頻的頻帶，低頻代表著影像中粗糙的輪廓，中頻及頻僅代表著影像中的細微部份，因此通常無用來辨識影像，其主要目的是用來加強低頻，使影像更接近原始影像。通常低頻成份之小波係數的絕對值比高頻成份之小波係數的絕對值大。

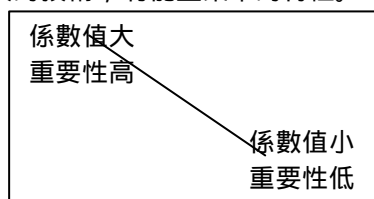
小波轉換技術又以離散餘弦轉換(DCT)及離散小波轉換(DWT)為主，以下為詳細介紹：

3-1 離散餘弦轉換

離散餘弦轉換(DCT)係將一數位影像進行運算後轉換成另一種資料格式的方法，運算後的資料可以有利於再進一步處理應用，如特徵值的擷取或是資料的隱藏。在影像的處理上，是將影像的訊號相關性去除，經過 DCT 的轉換後，訊號能量會大量集中在某些 DCT 的參數上[9]，轉換後的係數，位置若愈靠近左上角，則代表頻率愈低；反之，愈靠近左下角，所代表的頻率愈高。

影像經由 DCT 轉換後，會產生出 DCT 矩陣，其係數的分布為最左上角的係數數值最大，其餘的係數，由左上角最大值周圍開始，愈向右下角方向的係數，其重要性愈低，而較大的數值多集中在低頻部分。一般來說，大多影像的能量都集中於低頻部分，也就是轉換後

的係數，輸出在低頻部分值會比較大，輸出在高頻部分值會比較小，所以當影像利用 DCT 轉換的技術，有能量集中的特性。



圖二 DCT 矩陣

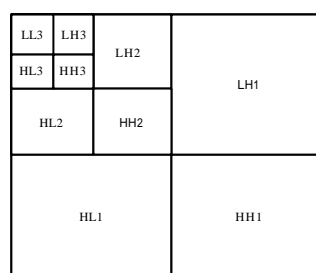
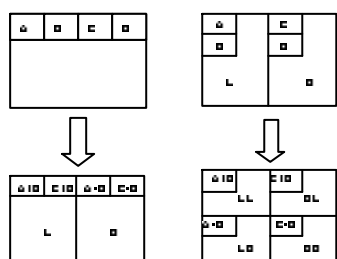
3-2 離散小波轉換

DWT 的基本概念如下：若在一維訊號中做 DWT 的方法，則會先將此訊號分成高頻與低頻部份，高頻部份通常為邊緣的部分，然後再將低頻部份分成高頻與低頻，一直重複此步驟 n 次 (n 由使用者自定)。若要將這些 DWT 係數重建回原訊號，則執行 Inverse DWT 即可。對於二維的訊號也是同樣的方式，分別對兩方向做 DWT 即可。

將影像的所有像素分別視為各自獨立的數值，並對這些數值做相加、相減的運算，求得此張影像的頻率。相加後的值會越來越大，值越大就表示該值越重要，人類肉眼看的越是清楚，所以相加的部分就是低頻的部分；相減的部分，會明顯的強調出物體的邊緣，物體平滑的部分就相對地不明顯了，所以相減的部分就是高頻的部分。

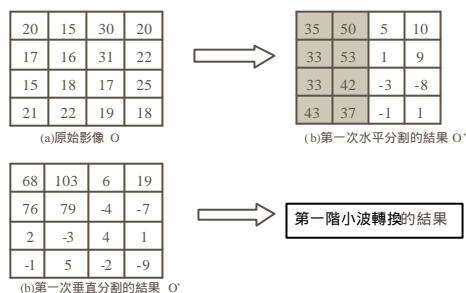
離散小波轉換的運算大致上有兩個步驟：一為水平分割，另一為垂直分割。水平分割的意思是讀取係數的順序是依照水平方向由左至右，儲存時也是水平方向儲存；垂直分割的意思是讀取係數的順序是垂直方向由上至下，儲存時也是垂直方向儲存。底下將說明離散小波轉換的轉換過程：

步驟一：第一次水平分割。以水平方向由左至右的順序，取出空間域影像的相鄰兩像素，作相加、相減運算，然後分別儲存。如圖三，A、B、C、D 分別代表四個係數，取出 A、B，將這兩個點做相加 (A+B)、相減 (A-B)；取出 C、D 做相加 (C+D)、相減 (C-D) 的動作。相加集合的部分就是這張影像的低頻部分，以符號 L 來表示；相減集合的部分就是這張影像的高頻部份，以符號 H 來表示。



圖五 三階離散小波轉換圖

舉一個實際的例子來說明，如圖六。



圖六

四、實驗流程

本節為說明數位浮水印的嵌入與取出技術，在嵌入過程中是利用位元取代方式，將二元影像浮水印嵌入至灰階原始影像內，並將原始影像做小波轉換，而嵌入點的選擇方式為經過係數大小排序後，係數較大則為欲嵌入點，並且利用到係數量化方法 [1]，將欲嵌入點經量化處理成二進位值，二元浮水印再利用位元取代方式嵌入於灰階原始影像中；浮水印偵測過程則使用位元取出方式及反量化動作，擷取出浮水印，進而探討嵌入位元位置的不同與嵌入波段之間的關係。

4-1 浮水印嵌入

嵌入浮水印的流程如圖七所示，其詳細步驟說明如下：

步驟 1. 原始影像做小波轉換 (Discrete Wavelet Transform, DWT)。

- 步驟 2. 經過 *DWT* 分解後得到三階、十個波段，分別為 $HH_1, HL_1, LH_1, HH_2, HL_2, LH_2, HH_3, HL_3, LH_3, LL_3$ 。
- 步驟 3. 選擇嵌入波段 - LH_3 (Selected

subband)。

- 步驟 4. 選擇係數 (Select coefficients)。
由小到大排序，並取較大係數之註標對應至 LH_3 波段內的註標。
- 步驟 5. 量化 (Quantization)。
對應到 LH_3 註標內的係數中，選出係數最大值及係數最小值，且設定量化區間並算出區隔值，將係數作量化。定義區隔值 I

$$I = (MaxC - MinC) / v$$

$$v = 2^k - 1 \quad (1)$$

其中 I = 區隔值； $MaxC$ = 係數最大值； $MinC$ = 係數最小值； v = 量化區間； k = 位元數

- 步驟 6. 位元取代 (Bits Replaced)。
計算出量化後係數的平均值，把量化後係數和平均值作大小比較，再將二位元浮水印的係數以位元取代嵌入方式，嵌入於量化後係數。

比較方法：若量化後係數小於平均值，則嵌入取代位元為量化後係數的第一個位元；反之，量化後係數大於或等於平均值，則嵌入取代位元為量化後係數的第二個位元

$$c_i \rightarrow b_k b_{k-1} \dots b_1$$

$$\begin{cases} c_i \rightarrow b_k b_{k-1} \dots w_p & \text{if } c_i < avg(C_x) \\ c_i \rightarrow b_k b_{k-1} \dots w_p b_1 & \text{if } c_i \geq avg(C_x) \end{cases} \quad (2)$$

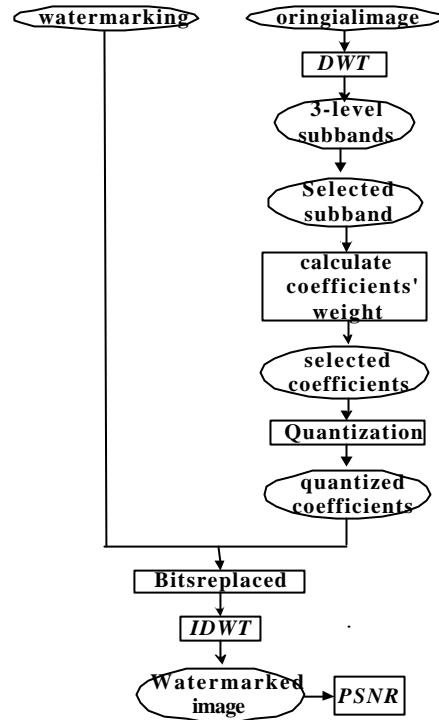
其中 c_i = 量化後的數； $b_k b_{k-1} \dots b_1$ = 位元數； w_p = 假如係數小於平均數 $avg(c_x)$ 則嵌入第一個位元； $w_p b_1$ = 假如係數大於等於平均數 $avg(c_x)$ 則嵌入第二個位元； w_p = 嵌入的位元。

- 步驟 7. 將位元取代後的量化係數作反量化動作，並執行小波轉換 (Invert *DWT*, *IDWT*)，即得到嵌入後的影像，再計算嵌入後影像之 *PSNR*。

經過影像壓縮或加入浮水印等處理後，再和原始數位影像做比較，其中發現兩張影像有所差異。其差異程度的大小，光以言語形容給人的感覺也許不是那麼明確，所以一般影像處理工具都以影像信號雜訊比 (Peak Signal to Noise Ratios, *PSNR*) 做為影像失真量測的工具，其計算公式如下：

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{MSE} dB \quad (3)$$

$$MSE = \left(\frac{1}{m^2} \right) \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{m-1} (a_{ij} - b_{ij})^2 \quad (4)$$



圖七 浮水印嵌入

4-2 浮水印取出

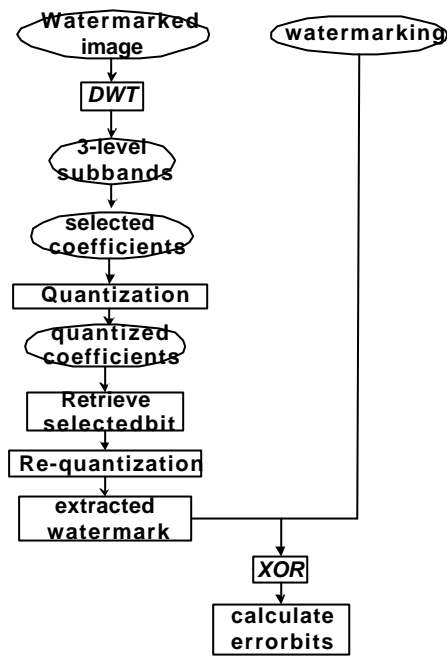
取出浮水印的流程如圖八所示，其詳細步驟說明如下：

- 步驟 1. 對嵌入後的影像做 *DWT* (Discrete wavelet transform, *DWT*)。
- 步驟 2. 經過 *DWT* 分解後，得到三階、十個波段，分別為 $HH_1, HL_1, LH_1, HH_2, HL_2, LH_2, HH_3, HL_3, LH_3, LL_3$ 。
- 步驟 3. 選擇係數 (Selected Coefficients)
選擇 LH_3 註標內的係數，亦即為經過位元取代嵌入後的係數。
- 步驟 4. 反量化 (Re-quantization)

$$\bar{R} = q_i * v + MinC \quad (5)$$

其中 q_i = 量化後嵌入浮水印的數； $MinC$ = 係數最小值； v = 區隔值

- 步驟 5. 位元取出 (Retrieve Selected bit)
經過量化的係數 (Quantization Coefficients)，利用位元取出，即可擷取出浮水印。
- 步驟 6. 將取出後的浮水印和原始浮水印做 *XOR* 運算。
- 步驟 7. 計算錯誤位元 (calculate error bits)：經由 *XOR* 運算後，即可知道錯誤位元。



圖八 浮水印取出

五、實驗結果

本實驗則探討各波段高低頻與嵌入位元位置之間的關係，以 *Lenna* 圖來做測試，利用不同波段高低頻的不同，分別改變嵌入位元的高低，來判別出執行成效的好壞，並選擇我們所需要嵌入之位元位置；由所做結果可得知，若選擇較高頻的波段作為欲嵌入波段，則較適合選擇較高的嵌入位元位置；相對地，較低頻的波段，則是比較不適合高嵌入位元的位置。

5-1 浮水印在影像未經過攻擊時的表現

在浮水印嵌入後，如圖九(b)所示，人類視覺看不出浮水印，對原始影像所做的變化。浮水印嵌入後仍能取出完整且無誤的浮水印，如圖九(d)所示。



圖九 嵌入取出影像

5-2 嵌入 LL_3 波段與改變嵌入位元之實驗

由表一可看出，嵌入位元分別為 1、2 時，且嵌入後原始影像經壓縮攻擊後，壓縮品質為 70 仍能完整取出浮水印，但當壓縮品質愈減，二者在相較之下，嵌入位元為 1 所實驗結果顯

示，錯誤位元比嵌入位元為 2 時多，而 *PSNR* 也比嵌入位元為 2 較為高；當嵌入位元為 3 時，在未經壓縮攻擊下，錯誤位元為 1，而隨著壓縮品質 100 至 10，錯誤位元明顯地比嵌入位元為 1、2 時少，但較不能承受壓縮之攻擊，因此，由實驗結果可知，當嵌入位元為 2 時，浮水印嵌入取出之效果最佳，也較耐壓縮之攻擊。

5-2 嵌入 LL_3 波段與改變嵌入位元之實驗

由表一可看出，嵌入位元分別為 1、2 時，且嵌入後原始影像經壓縮攻擊後，壓縮品質為 70 仍能完整取出浮水印，但當壓縮品質愈減，二者在相較之下，嵌入位元為 1 所實驗結果顯示，錯誤位元比嵌入位元為 2 時多，而 *PSNR* 也比嵌入位元為 2 較為高；當嵌入位元為 3 時，在未經壓縮攻擊下，錯誤位元為 1，而隨著壓縮品質 100 至 10，錯誤位元明顯地比嵌入位元為 1、2 時少，但較不能承受壓縮之攻擊，因此，由實驗結果可知，當嵌入位元為 2 時，浮水印嵌入取出之效果最佳，也較耐壓縮之攻擊。

5-3 嵌入 LH_3 波段與改變嵌入位元之實驗

以原始影像 *Lenna* 圖和二元影像浮水印，嵌入的波段為 LH_3 來看(如表二)，嵌入位元為 1 時，在壓縮品質 90 下，就已經出現了一個錯誤位元，而嵌入位元為 2 時，在壓縮品質 80 下，雖然只出有三個錯誤位元，可是在比較之下嵌入位元為 3 時，在壓縮品質 80 下，雖出現了三個錯誤位元，不過在壓縮品質 70 到 10 時，都比嵌入位元為 2 的錯誤位元來的少，因此由實驗結果比較出，嵌入波段為 LH_3 和嵌入位元為 3 時的效果為最佳。

5-4 嵌入 HL_3 波段與改變嵌入位元之實驗

以原始影像 *Lenna* 圖和二元影像浮水印，嵌入波段為 HL_3 時，由表三可看出，當嵌入位元為 1，壓縮品質 70 時，錯誤位元為 2；而嵌入位元為 2、3，壓縮品質 70 時，錯誤位元仍為 0，但二者相較之下，經由壓縮品質 60 至 10 中，明顯可看出嵌入位元為 3 時錯誤位元較少，因此嵌入取出之執行效果較佳。

六、結論

由於數位式多媒體和網路科技的發展快速，使得數位電子資料傳播快速，也因為網路的傳輸過程中，缺乏私人的空間，使得私人的數位影像被大量快速的使用，因此數位影像的版權問題日漸嚴重，近年來，在著作權法制定後，版權問題受到相當的重視。[1]

本實驗探討各波段高低頻與嵌入位元位置之間的關係，而我們以 *Lenna* 圖來做測試，利用波段高低頻的不同，分別改變嵌入位元的高低，來判別出執行成效的好壞，選擇所需要嵌入之位元。

以 *Lenna* 圖與二元影像浮水印來做測試，利用高低頻的不同 HL_3 、 LH_3 、 LL_3 ，分別改變其嵌入位元；以高低頻波段 HL_3 ，嵌入位元為 1，壓縮品質為 70 時來看，已出現 2 個錯誤位元，而嵌入位元為 2、3 時，在相同壓縮品質為 70 時，仍可取出完整浮水印，且又以嵌入位元為 3 時效果最佳；以波段 LH_3 來看，嵌入位元為 3 時，壓縮品質整體執行效果，皆比嵌入位元為 1、2 來的好；再以波段 LL_3 來看，由於為低頻波段，可明顯發現，嵌入位元為 3 時，在未經壓縮攻擊下，錯誤位元為 1，較不抗壓縮攻擊，而嵌入位元為 1、2 時，壓縮品質為 70 仍能完整取出浮水印，且又以嵌入位元為 2 之效果最佳，可看出在嵌入位元為 1、2 時，執行效果較嵌入位元為 3 時來得好。

綜合以上之結果，在三個高低頻不同的波段實驗中，可發現較高頻之波段，嵌入位元位置愈高，其效果愈佳；相反地，低頻波段較不適合選擇較高嵌入位元的位置。然而選擇較佳嵌入位元位置，所嵌入取出之效果較佳，且較耐壓縮之攻擊，但其 *PSNR* 值相對地較低，因此如何在錯誤位元與 *PSNR* 值之間做取捨，需看使用者需求而定。

七、參考文獻

- [1] 鍾岳峰，"基於小波轉換之強健且低破壞性的數位浮水印嵌入法"，國立台灣科技大學電子工程系，91年六月十九日。
- [2] Bender, D. Gruhl, and N. Morimoto, "Techniques for Data Hiding," *Proc. of the SPIE Conference on Storage and Retrieval for Image and Video Databases III*, Vol.2420, pp.164-173, Feb. 1995.
- [3] I. J. Cox, J. Kilian, F. T. Leighton, and T. Shamoon, "Secure spread spectrum watermarking for multimedia," *IEEE Trans. Image Processing*, Vol. 6, pp. 1673-1687, 1997.
- [4] J. Fridrich, "Combining low-frequency and spread spectrum watermarking," *Proc. SPIE Int. Symposium on Optical Science, Engineering, and Instrumentation*, 1998
- [5] F. Hartung and B. Girod, "Watermarking of Uncompressed and Compressed Video," *Signal Processing*, Vol. 66, No. 3, pp. 283-301, 1998.
- [6] C. T. Hsu and J - L. Wu, "DCT - based watermarking for video," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, Vol. 44, No. 1, pp. 206-216, February 1998.
- [7] C. T. Hsu and J. L. Wu, "Hidden digital watermarks in Images," *IEEE Trans Image Processing*, Vol. 8, No. 1, pp. 58-68, Jan. 1999.
- [8] C-T. Hsu and J-L. Wu, "Multiresolution watermarking for digital images," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, Vol. 45, No. 8, pp. 1097-1101, Aug. 1998.
- [9] Y. S. Kim, O. H. Kwon, R.H. Park, "Wavelet based watermarking method for digital images using the human visual system," *Circuits and Systems, ISCAS '99. Proceedings of the 1999 IEEE International Symposium on Volume:4*, Page(s):80-83 vol.4, 1999.
- [10] Kutter, F. Jordan, and F. Bossen, "Digital Watermarking of Color Images using Amplitude Modulation," *Journal of Electronic Imaging*, Vol.7, No. 2, pp. 326-332, Apr. 1998.
- [11] N. Nikolaidis and I. Pitas, "Copyright protection of images using robust digital images," *IEEE Int. Conf. on acoustics, Speech and Signal Processing*, Vol. 4, May 1996.
- [12] N. Nikolaidis and I. Pitas, "Robust Image Watermarking in the spatial domain," *Signal Processing*, Vol. 66, No. 3, pp. 385-403, 1998.
- [13] I. Pitas, "A method for signature casting on digital images," *IEEE ICIP96*, Vol. 3, September 1996.
- [14] C. I. Podilchuk and W. Zeng, "Image-adaptive watermarking using visual models," *IEEE J. Selected Areas in Communications*, Vol. 16, No. 4, pp. 525-539, May 1998.
- [15] C. Podilchuk and W. Zeng, "Image-adaptive watermarking using visual models," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol.16, p.525-539, May, 1998.
- [16] R. G. van Schyndel, A. Z. Tirkel, and C. F. Osborne, "A digital watermark," in *proc., IEEE Int. Conf. Image Processing*, Vol. 2, 1994, pp. 86-90.
- [17] D. Swanson, B. Zhu, and A. H. Tewfik, "Robust data hiding for Imagers," *IEEE Digital Signal Processing Workshop*, (Loen, Norway), pp. 37-40, Sep. 1996.
- [18] G. Voyatzis and I. Pitas, "Applications of topological automorphisms in image watermarking," *IEEE Int. Conf. on Image Proc.*, pp. 237-240, 1996.
- [19] G. Voyatzis and I. Pitas, "Application of topological automorphisms in image watermarking," *Proceeding of ICIP*, Vol. 2, p. 237-240, 1996.
- [20] G. Voyatzis and I. Pitas, "Chaotic mixing of digital image and applications to watermarking," *Proceedings of European Conference on Multimedia Applications, Services and Techniques (ECMST'96)*. Vol. 2, May 1996, pp. 678-695.
- [21] R. W. and E. Delp, "a watermark for digital

