

使用 YUV 影像之彩色數位浮水印的探討

The Study of Color Digital Watermarking Using YUV Image

吳明芳¹ 王鴻彬¹ 詹慧珊²
Ming-Fang Wu¹ Horng-Bin Wang¹ Chan-Hui Shan²

¹崑山科技大學電機工程系

²台南女子技術學院美容系

摘要

近年來數位影像浮水印的藏匿技術廣受熱烈探討。儘管浮水印技術的發展至今已趨完整，所處理的浮水印也由字串及黑白的二位元影像進展到灰階浮水印，但在彩色浮水印的技術部份仍有很大的發展空間，而如何盡量保存原始彩色影像的完整性以及建構更強健性(Robust)的彩色數位浮水印技術為世所趨。

本研究以能強健性藏匿彩色浮水印為目的，將以空間域和頻率域的觀念及探討為出發點，並配合 YUV 色彩系統，利用離散餘弦轉換將彩色影像由空間域轉換至頻率域，再將彩色浮水印頻域係數經適當處理後藏入媒體彩色影像之中低頻的部分。使其藏入後之彩色浮水印能抵抗各類型影像處理的破壞。在完成理論的探討及推演後，本研究最後以實作來驗證其實際功效。

關鍵詞：數位影像、彩色浮水印、頻率域、離散餘弦轉換

Abstract

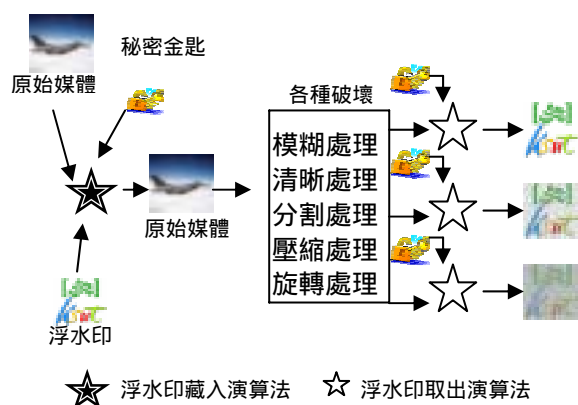
The hiding of digital watermarks has been an interesting problem for many researchers in recent years. Although many watermarking techniques were proposed successfully to deal with both bi-level and gray-level watermarks, it is necessary to develop a robust watermarking method for the color watermarks.

The purpose of this proposal is to develop a frequency-domain-based watermarking method in which the color watermarks can be treated. In the proposed method, the YUV color system is first combined with the discrete cosine transformation, and then the color images in the time domain are transformed into the frequency domain. After the proper treatment, the frequency coefficients of the color watermarks are hidden into the middle-low- frequency coefficients of the color images. In the hiding process, the robustness of the middle-low- frequency is developed into a favorable property to resist the ravages of various image processing. Finally, a series of experiments will be conducted to verify the practical efficacy of our purpose.

Keywords: Digital image, Color watermarking, Frequency domain, Discrete cosine transformation

一、前言

近年來，由於科技的突飛猛進，以及網際網路的蓬勃發展，使得許多公司企業考量於顧客消費的便利性，意圖將傳統之商業活動擴展至網際網路上，以爭取更多商機。目前常見的例子有：電子商務、線上廣播、電子檔案交換、及隨選視訊等等。就便利性而言，網際網路的確帶給諸多公司企業及其顧客雙贏的局面，但是關於有價媒體，如影像、音樂、影片等，在網路上傳送的結果，同時也衍生出許多智慧財產所有權、著作權之認證及驗證問題，而數位浮水印(digital watermarking)是解決此一問題的重要技術。如圖 1 所示，即為彩色數位浮水印技術之架構圖。該圖顯示出浮水印的藏匿技術需先將原始媒體影像經由浮水印藏入之演算法和秘密金匙藏入後，還必須能夠經過各種影像處理的破壞(模糊處理、清晰處理、分割處理、壓縮處理...等)並能正確的取回浮水印。



【圖 1】彩色數位浮水印技術架構圖

數位影像浮水印技術的快速發展至今僅十年餘光陰[1]~[15]，其主要目的是將代表合法擁有者的圖騰，如註冊商標、營利事業統一編號、個人肖像等，加入被保護的媒體中。從加入浮水印後的媒體外觀來看，可將數位浮水印技術分成兩種[29]：可視的(visible)浮水印技術與不可視的(invisible)浮水印技術。前者浮水印可以被肉眼所見，其缺點破壞了媒體原有的美觀，且易讓不法人士利用影像處理技術去除或更改原有圖騰；後者優點則強調浮水印無法用肉眼直接看出，因此免除了前者之缺點，為大部分研究者所樂於探討。再從藏入浮水印演算法的觀點來看，不可視的浮水印技術又可區分為兩大類[29]：第一類屬空間域(spatial domain)的處理[2]~[6]，係直接改變影像灰階來達成隱藏浮水印的目的，具快速運算之優點，但缺點為較不易抵抗各類型影像處理的破壞；第二類屬頻域(frequency domain)的處理[7]~[15]，係將影像灰階資料經傅利葉(Fourier)、離散餘弦(discrete cosine)、及小波

(wavelet)等的轉換後，藉由改變頻域係數值來藏入浮水印，再將之反頻域轉換即完成隱藏浮水印的目的，此法雖需大量運算，但較能抵抗各類型影像處理的破壞。

由於最高位元(MSB)對影像品質的影響甚鉅，空間域浮水印技術的主要作法係將數位浮水印的每一個像素(pixel)位元藏到媒體影像中任一個位元組之非 MSB 的位置中。在頻域的浮水印技術裡，若將浮水印放在低頻係數中會造成原影像的破壞，而放再高頻係數內則會被失真性的壓縮及各類影像處理過程所移除，所以典型的頻域浮水印藏匿技術係將浮水印資料隱藏於媒體影像的中頻係數裡。儘管前述兩類浮水印技術的發展至今已趨完整[1]~[15]、[29、30]，然而過去的這些技術似乎大多侷限於黑白及單色灰階浮水印的處理，這使得藏匿彩色浮水印的技術尚有很大的發展空間。

因此，本研究以能強健藏匿彩色數位浮水印於彩色數位影像為目的，以空間域和頻率域的觀念及探討為出發點，並配合 YUV 色彩系統，利用頻域技術的特有優點去減少對原始彩色影像的破壞，並增加藏入後的彩色浮水印對外來攻擊的承受度。在這方面，本研究亦將中低頻係數的強健性發展為抵抗各類型影像處理破壞的有利性質。最後，本研究將歸納一完整的演算法則，並將彩色數位影像及彩色數位浮水印透過實作來驗證各項理論推演及演算法則的正確性及實際功效。

二、頻率域之數位浮水印技術的探討

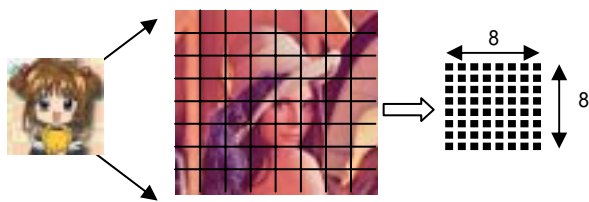
頻率域的數位影像資料格式，是將空間域的數位影像利用各種不同的轉換方式，將其轉換過濾後，會產生許多高低不同的頻帶。藉由高低頻帶有不同的特性，而進一步做影像處理[16]~[23]。一般比較常見的影像頻率轉換的方式有：離散餘弦轉換(Discrete Cosine Transform, DCT)、離散傅利葉轉換(Discrete Fourier Transform, DFT)和離散小波轉換(Discrete Wavelet Transform, DWT)[24]...等等，本研究為能方便存取中低頻參數值，使用 DCT 作為轉換的方式。

將空間域的數位影像資料格式經由離散餘弦轉換成頻率域的動作稱為離散餘弦正轉換(Forward Discrete Cosine Transformation, FDCT)，如果將頻率域數位影像資料格式還原成空間域，則稱為離散餘弦反轉換(Inverse Discrete Cosine Transformation, IDCT)。其公式如下所示：

$$D(i, j) = \frac{1}{\sqrt{2S}} C(i)C(j) \sum_{x=0}^{S-1} \sum_{y=0}^{S-1} F(x, y) \cos\left[\frac{(2x+1)i\pi}{2S}\right] \cos\left[\frac{(2y+1)j\pi}{2S}\right] \quad (2.1)$$

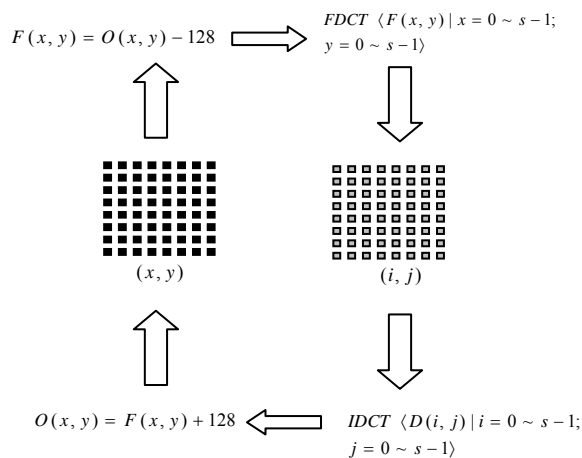
$$F(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2S}} \sum_{i=0}^{S-1} \sum_{j=0}^{S-1} C(i)C(j) D(i, j) \cos\left[\frac{(2x+1)i\pi}{2S}\right] \cos\left[\frac{(2y+1)j\pi}{2S}\right] \quad (2.2)$$

其中(2.1)式為離散餘弦正轉換；(2.2)式為離散餘弦反轉換。至於離散餘弦轉換實際之做法，首先將數位影像資料劃分成 8 × 8 像素大小的區塊(Block)如圖 2 所示。



【圖 2】 區塊分割示意圖

每一個劃分的區塊並沒有重疊(區塊大小需為 8 的倍數以符合 JPFGE 標準), 接下來將每一個空間域區塊中的所有像素值減去 128, 然後再以離散餘弦正轉換公式作轉換, 即可得到一個與空間域區塊中像素個數相同的頻率域區塊。此頻率域區塊可分成高頻、中頻、低頻三個部分。同樣的, 如果再將這些頻率域的資料再以離散餘弦反轉換做轉換, 再將每個像素值加上 128 後, 即可還原成原來的數位影像資料。動作情況如圖 3 所示。其中 $O(x,y)$ 表示在空間域數位影像 (x,y) 位置中的像素值; $F(x,y)$ 是將 $O(x,y)$ 的像素值減去 128 後的結果。 $D(i,j)$ 是表示在頻率域資料 (i,j) 位置的係數值。 $\langle D(i,j) | i=0 \sim s-1; j=0 \sim s-1 \rangle$ 是對一個 $S \times S$ 的空間域數位影像 $\langle F(x,y) | x=0 \sim s-1; y=0 \sim s-1 \rangle$ 進行 FDCT 運算後的結果。如果要還原原始的像素值 $O(x,y)$, 則對 $\langle D(i,j) | i=0 \sim s-1; j=0 \sim s-1 \rangle$ 進行 IDCT 運算可得到 $\langle F(x,y) | x=0 \sim s-1; y=0 \sim s-1 \rangle$, 再將 $F(x,y)$ 的係數值加上 128 即可獲得。在做 FDCT 之前必須先將空間域區塊中的像素減去 128 是因為原本的像素值是介於 0 255 之間, 為了將頻率域直流值置於中間, 所以將其減去 128, 把範圍調整為介於 -128 127 之間。最後經過 FDCT 和 IDCT 處理後的數位影像, 和原本沒有處理過的數位影像, 如用肉眼來觀察是絕對無法發現其中的任何差異。



【圖 3】 空間域頻率域影像資料轉換示意圖

至於 DCT 法藏匿浮水印之步驟及其優點如下所述：

1. 利用離散餘弦轉換在藏匿浮水印資料之步驟

- (1) 先將原始影像進行離散餘弦正轉換。
- (2) 將浮水印做處理, 依處理的技術可分為將浮水印做隨機亂數打散並做特徵值的選取; 將浮水印進行離散餘弦正轉換, 再做隨機亂數打散並取出其中低頻參數值做處理。
- (3) 將原始影像經離散餘弦正轉換後與浮水印做處理, 依技術方法的不同而有不同的處理方式。
- (4) 將處理過後之浮水印回存至經離散餘弦正轉換後之原始影像。
- (5) 將藏入浮水印之原始影像以離散餘弦反轉換做轉換, 即可獲得已藏入浮水印之原始影像。

2. 浮水印資料萃取之步驟

- (1) 將已藏入浮水印的原始影像作離散餘弦正轉換, 然後依藏入的方法依序取出浮水印的相關參數值。
- (2) 將取出的浮水印相關參數值施以同藏入時的方法還原(如隨機亂數打散或反數位量化... 等等)。
- (3) 將處理後之浮水印相關參數值再經離散餘弦反轉換, 此時即可獲得原始浮水印。
在取出浮水印的過程中, 依技術方法的不同皆有些許的差異, 如有的在取出浮水印的過程中不需使用到原始的浮水印; 有的則需要原始的浮水印, 視處理的方法而異。

3. 頻率域技術之優點

與空間域浮水印技術相較之下, 頻率域處理技術之優點在於能夠抵禦較多的攻擊, 如清晰化、模糊化、壓縮、分割... 等, 所以用此方式藏入的浮水印也較為強健, 比較不容易被有心人士輕易的破壞。

三、彩色數位浮水印技術的探討

RGB 的色彩模式通常應用在彩色的攝影機及監視器上, 是一般人非常瞭解的三原色色彩模式。它很適合用在影像處理的各項運算上, 我們可以依照對單色影像的影像處理方法, 分別的對 R.G.B 三色加以實施運算, 最後再將其結果合併, 即可的到處理後的彩色數位影像。但這種做法因其藏入的資料量較大, 較易使原本的彩色數位影像產生失真, 所以本論文利用色彩轉換公式, 將其由 RGB 轉換至 YUV。由於 YUV 中的 Y 分量為整張影像之亮度資訊, 類似於單色灰階影像, 為了便於將前節所述灰階影像之頻域浮水印技術沿用於 YUV 彩色影像, 所以本節針對 Y 的部分進行藏匿浮水印的動作, U 及 V 分量則維持不變以減少對原始影像的改變, 使藏入浮水印後之原始彩色數位影像之品質較佳。

如欲將 R,G,B 轉換成 Y,U,V, 則轉換公式如下:

$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.147 & -0.289 & 0.436 \\ 0.615 & -0.515 & -0.110 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

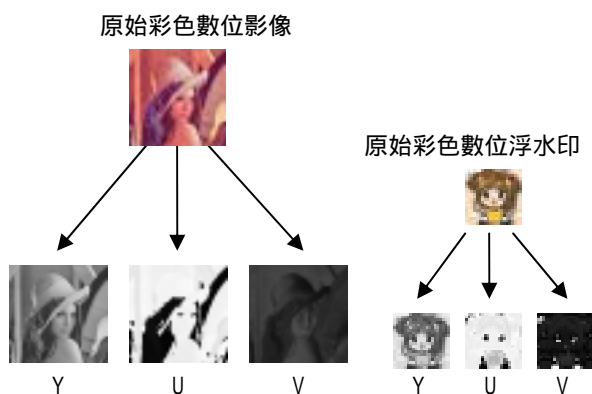
欲將 Y,U,V 轉換回 R,G,B, 則轉換公式如下

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1.140 \\ 1 & -0.395 & -0.581 \\ 1 & 2.028 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

至於其藏匿及取出技術分別敘述如下：

1.彩色數位浮水印的藏匿技術

- (1) 先將原始的彩色數位影像和原始彩色數位浮水印利用色彩轉換公式(3.1)、(3.2)將其轉換成 YUV 並將 Y 陣列取出，如圖 4 所示。



【圖 4】彩色數位影像分解圖

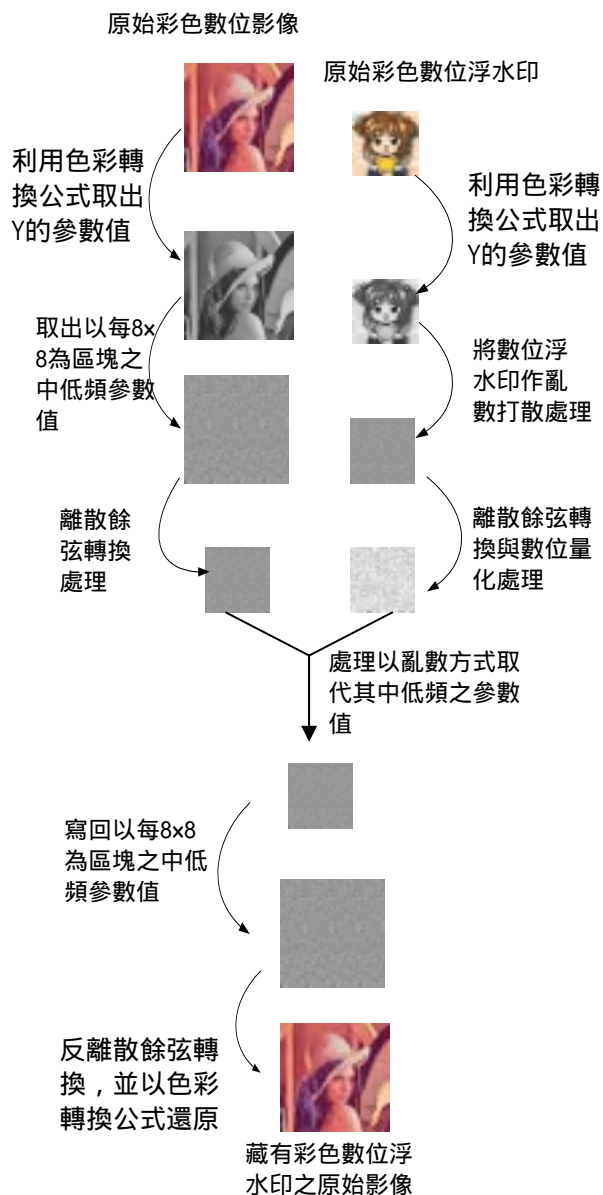
- (2) 將原始彩色數位影像所取出的 Y 係數值做離散餘弦轉換處理；將所取出的 Y 係數值以每 8x8 的區塊大小為單位進行空間域至頻率域的轉換。
- (3) 將所取出的 Y 係數值轉換至頻率域後，取出其每一 8x8 為區塊大小的中低頻係數值，取出係數值的多寡則視彩色數位浮水印的大小而定，計算方式為：

$$\frac{M \times M}{\frac{N}{8} \times \frac{N}{8}}$$

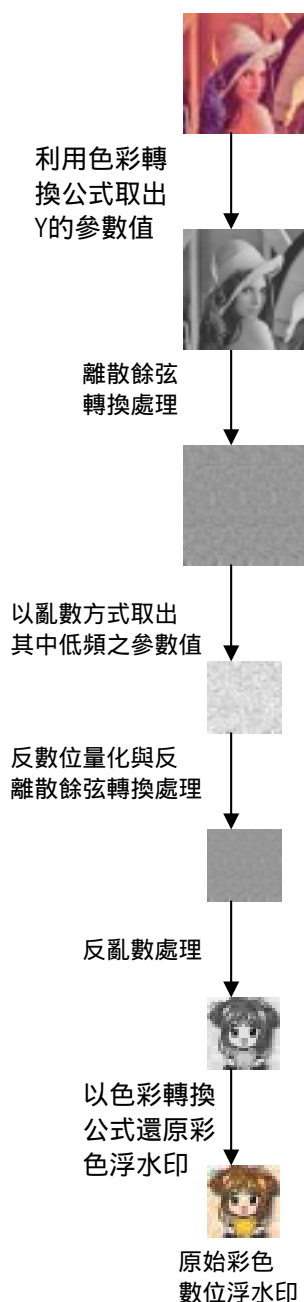
- (4) 將彩色數位浮水印跟步驟(2)一樣取出 Y 的係數值，接著對所取出的 Y 係數值作亂數處理，此動作的目的是為了讓浮水印具有抵抗影像切割的能力，以增加浮水印之強健性。
- (5) 將做完亂數打散後之 Y 係數值各別進行離散餘弦轉換，先將 Y 係數值各別以每 4x4 區塊大小為單位做空間域與頻率域的轉換。接下來就是做量化的動作，此動作是為了能保留更多彩色數位浮水印的係數值和減少原始彩色數位影像的失真。量化的方式是設計一個量化表，量化表中的參數值是將原始彩色數位影像和彩色數位浮水印中的係數取平均值，接著再根據兩者間的差異取一個平衡點。平衡點的選擇攸關藏入後原始彩色數位影像和彩色數位浮水印萃取出來的品質。
- (6) 將步驟(5)處理完後之彩色數位浮水印的 Y 係

數值以亂數的方式取代原始彩色數位影像之 Y 係數值所取出的中低頻參數值。此步驟的目的是要在浮水印技術公開的原則下，不讓藏入的過程中產生規律性，以防止不法人士的偵測，增加彩色數位浮水印的安全性。

- (7) 將步驟(6)所處理後之中低頻係數值寫回原始彩色數位影像之 Y 係數值的中低頻位置。將浮水印頻域係數藏匿於原始影像頻域之中低頻位置的目的是為了讓所藏匿的浮水印更具強健性以能抵抗各類影像處理的攻擊。
- (8) 接下來將步驟(7)所得的原始彩色數位影像之 Y 係數值以每 8x8 的區塊大小為單位進行反離散餘弦轉換處理，然後再利用色彩轉換公式(3.2)還原原始彩色數位影像，如此即完成彩色數位浮水印的藏匿動作。圖 5 所示為彩色數位浮水印藏入流程圖。



【圖 5】彩色數位浮水印藏入流程圖



【圖 6】彩色數位浮水印取回流程圖

2. 彩色數位浮水印取出步驟

- (1) 將藏有彩色數位浮水印之原始影像利用色彩轉換公式取出其 Y 的參數值，再將所取出的 Y 參數值以每 8×8 的區塊大小為單位做離散餘弦轉換，將影像由空間域轉換至頻率域。
- (2) 利用和我們藏入時一樣的亂數產生器之種子，將藏入時之中低頻係數值依序取出。
- (3) 接著利用我們之前藏入浮水印時所設計出的量化表做一個反量化的處理，將原本浮水印的係數值還原回來。然後再以每 4×4 的區塊大小為單位做反離散餘弦轉換，將影像由頻率域轉

換到原本的空間域並做反亂數處理。

- (4) 至此，已經可以清楚的看出所取的浮水印，但卻不是原本所藏入的彩色浮水印而是灰階的。因為我們要先對 Y 的部分去做浮水印的認證，如果確定是與先前藏入時的浮水印為相同時(其相似性判斷依據可採用第四節所述之 NC 值評估方式)，此時再加入原本 U 和 V 的參數值利用色彩轉換公式還原原本的彩色數位浮水印。此動作是為了減少處理的時間和直接還原彩色影像所造成的錯誤。
- (5) 利用色彩轉換公式將灰階浮水印還原成彩色浮水印，如此即完成彩色浮水印的取出動作。圖 6 所示為彩色數位浮水印取回流程圖。

綜觀以上所述浮水印藏匿及解藏匿步驟顯示，此技術不用為了取出浮水印而須同時儲存原始影像，因此節省了儲存容量。

四、實作結果

追求較好的影像品質為浮水印技術的一個重要目標。但是要如何去判斷好或壞呢？最直接的方式是用人的眼睛直接判斷，但每個人對好壞的標準又不相同，所以一般在學術研究上大多是採用 PSNR (Peak-Signal-to-Noise Ratio) 和 NC (Normalized Correlation)[25]來作為影像品質評估的標準，分述如下：

1. PSNR：其計算公式如 (4.1) 和 (4.2) 所示，其中 MSE (Mean Square Error) 為兩張灰階數位影像的均方差， $\alpha(i,j)$ 表示原始數位影像第 (i,j) 位置上的像素值， $\alpha_w(i,j)$ 表示經處理後之數位影像第 (i,j) 位置上的像素值，Size 為影像的大小。因為我們所處理的影像為彩色的，所以其彩色的計算方式如 (4.3) 所示。

$$PSNR = 10 \times \log_{10} \times \left(\frac{255^2}{MSE} \right) \quad (\text{單位: dB}) \quad (4.1)$$

$$MSE = \frac{1}{Size} \times \sum_{i=0}^{Size-1} \sum_{j=0}^{Size-1} (\alpha(i, j) - \alpha_w(i, j))^2 \quad (4.2)$$

$$PSNR_{Total} = \frac{1}{3} (PSNR_R + PSNR_G + PSNR_B) \quad (4.3)$$

當兩張影像經過信號雜訊比計算後，其基本原則為 PSNR 值越大，影像品質越好。但是有很高的 PSNR 值時也不代表該影像的品質絕對很好。例如，我們如果將原本黑色的像素值改變成白色，因為我們所改變的像素數量不是很多，所以其 PSNR 值還是很高，但這些改變我們用眼睛卻可以一眼就察覺出來了，因此通常除了用 PSNR 值來對影像的品質作判定外，還是必須再由人的眼睛作為輔助，才是比較公正和客觀的作法。

2. NC：其計算公式如 (4.4) 所示，其中 Size 為影像的大小， $W(i,j)$ 表示原始浮水印第 (i,j) 位置上的像素值， $W'(i,j)$ 表示經萃取後之浮水印第 (i,j) 位置上的像素值。彩色計算方式如 (4.5) 所示。NC 值之判定方法為：NC 值越接近 1，則表示藏入前

後之浮水印的相似程度越高；NC 值越接近 0，則表示藏入前後之浮水印的相似程度越低。

$$NC = \frac{\sum_{i=0}^{Size-1} \sum_{j=0}^{Size-1} W(i, j) \times W'(i, j)}{\sum_{i=0}^{Size-1} \sum_{j=0}^{Size-1} \left(\hat{W}(i, j) \right)^2} \quad (4.4)$$

其中 $\hat{W} = \begin{cases} W & \text{if } W \geq W' \\ W' & \text{if } W \leq W' \end{cases}$

$$NC_{Total} = \frac{1}{3} (NC_R + NC_G + NC_B) \quad (4.5)$$

為了證明本文所敘述方法之可行性，將所有的理論加以實作驗證，所使用的硬體設備為 Pentium4-2.4GHz 的 CPU、512MB 的 RAM、作業系統為 Microsoft Windows XP Professional 的電腦，以 Microsoft Visual C++ 6.0 為程式撰寫工具，並利用 Ulead PhotoImpact 8.0 中文版影像處理軟體作為實驗輔助工具。

在本節實作中共使用了 Lena(560×560)與飛機(560×560)兩張彩色數位影像，以及崑山校徽(140×140)與 Sakura(140×140)兩張彩色數位浮水印，如圖 7 所示。然因篇幅限制，本節僅以 Lena 影像及 Sakura 浮水印為例，提供成功藏入浮水印後經過清晰化(1 次 5 次)、模糊化(1 次 5 次)、切割(90% 10%)、壓縮(壓縮比 4.9 壓縮比 13.4)後的影像與取出的彩色數位浮水印，並附上由 PSNR 與 NC 所計算出來的數據表以作為實際功效之驗證依據。其餘 Lena - 崑山校徽、飛機 - 崑山校徽、及飛機 - Sakura 等三組配對的實作結果亦相當成功 [33]。至於浮水印影像藏匿及解藏匿所需運算時間皆在 1 秒以內。

圖 8 所示為成功藏入浮水印之原始影像經過影像處理軟體之清晰化處理後所取出之浮水印。圖 9 所示為藏入浮水印之原始影像經過影像處理軟體

之模糊化處理後所取出之浮水印。圖 10 為將藏入浮水印後之原始影像經過切割化處理(90% 10%)所破壞後之原始影像和所取回之浮水印的結果。圖 11 為將藏入浮水印後之原始影像經過壓縮處理(壓縮比 4.95 壓縮比 13.4)後之原始影像和所取回之浮水印的結果。



【圖 7】原始彩色影像(a)(b)及彩色浮水印(c)(d)

表 1 所示為原始彩色數位影像其藏入前後之 NC 和 PSNR 值以及原始彩色數位浮水印其藏入前後之 NC 和 PSNR 值。表 2 所示為藏入浮水印之原始影像經過影像處理軟體之清晰化處理後所取出的浮水印和原始浮水印相比較之 NC 與 PSNR 值。表 3 所示為藏入浮水印之原始影像經過影像處理軟體之模糊化處理後所取出的浮水印和原始浮水印相比較之 NC 與 PSNR 值。表 4 所示為藏入浮水印之原始影像經過影像處理軟體之切割處理後所取出的浮水印和原始浮水印相比較之 NC 與 PSNR 值。表 5 所示為藏入浮水印之原始影像經過影像處理軟體之壓縮處理後所取出的浮水印和原始浮水印相比較之 NC 與 PSNR 值。



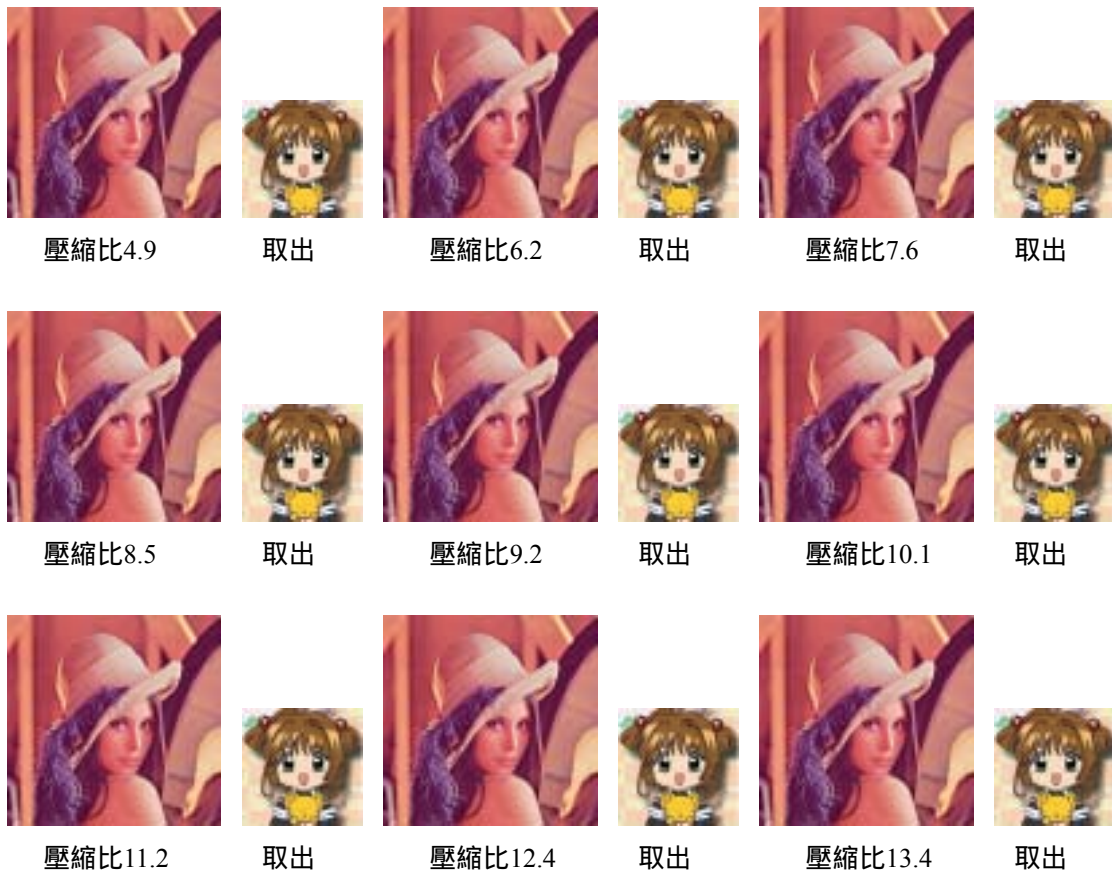
【圖 8】清晰化 1 次 清晰化 5 次之結果和所取出之浮水印



【圖 9】模糊化 1 次 模糊化 5 次之結果和所取出之浮水印



【圖 10】切割剩餘率 90% 10%之結果和所取出之浮水印



【圖 11】壓縮比 4.9 13.4 之結果和所取出之浮水印

表1. 藏入前/後，原始影像和浮水印之NC與PSNR值

影 像	原始彩色數位影像	原始彩色數位浮水印
NC	0.980956	0.985706
PSNR(dB)	35.50027	37.93340

表2. 清晰化處理1 5次之NC與PSNR值

清晰化處理	1 次	2 次	3 次	4 次	5 次
NC	0.876405	0.826430	0.789810	0.764149	0.748561
PSNR(dB)	19.06196	15.15760	13.17720	12.09249	11.51077

表3. 模糊化處理1 5次之NC與PSNR值

模糊化處理	1 次	2 次	3 次	4 次	5 次
NC	0.847894	0.763091	0.710996	0.675214	0.650718
PSNR(dB)	19.47389	15.62814	13.88939	12.85909	12.21127

表4. 在不同剩餘面積下之NC與PSNR值

剩餘率(%)	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
NC	0.630171	0.664987	0.700182	0.736585	0.773948	0.813614	0.852206	0.894336	0.937896
PSNR(dB)	11.40292	11.96176	12.56336	13.27258	14.07102	15.05711	16.21865	18.06082	20.77836

表5. 為在不同壓縮比下之NC與PSNR值

壓縮比	4.9	6.2	7.6	8.5	9.2	10.1	11.2	12.4	13.4
NC	0.981968	0.981539	0.975519	0.973363	0.968048	0.965962	0.958517	0.950278	0.942499
PSNR(dB)	35.90884	35.68405	33.24217	32.51488	30.95789	30.40712	28.65826	27.04729	25.75191

由以上所做的實作結果顯示，當藏入浮水印後的原始影像經過清晰化處理 5 次後，雖然其 PSNR 之值不高(表 2)，但所取出的浮水印仍然清晰可見。而模糊化處理 5 次後，其結果就較不理想，但還是能夠看察覺出浮水印的存在。在切割處理和壓縮處理方面其結果不錯，在剩餘 20%時還是能夠察覺出浮水印。

五、結論及未來展望

在本研究中成功地利用離散餘弦轉換的方法，將單色灰階的浮水印技術延伸至彩色數位影像及浮水印的處理，且因本方法只對 Y 的部分去做藏匿浮水印的動作，其處理時間也較為迅速。經由實作結果顯示其確實能夠在不破壞原始彩色數位影像之品質下藏入彩色數位浮水印且能抵抗外來的破壞(清晰化、模糊化、切割、壓縮)並成功的取回所藏入之彩色數位浮水印。但是儘管如此，一套在完美的數位浮水印技術在智慧財產權上的保護和認證上，還是必須配合我們現行的法律去約束和保護。所以期待在不久的將來能夠將數位浮水印技術和法律做一個整合，提升數位浮水印技術其應用的層面和範圍。

六、參考文獻

1. R. G Van Schyndel, A. Z. Trikel, and C. F. Osborne, "A Digital Watermark", Proc. Of IEEE Int'l Conf. On Image Processing, pp.86-90 (1994).
2. M. S Hwang, C. C. Chang, and K. F. Hwang, "A Watermarking Technique Based on One-Way Hash Function", IEEE Tran. On Consumer Electronics, Vol.45, No.2, pp.286-294(1999).
3. M. 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 (1998).

4. G. C. Langelaar, J.C.A. van der Lubbe, and R. L. Lagendijk, "Robust Labeling Method for Copy Protection of Images", Proceedings of SPIE Electronic Imaging '97, Storage and Retrieval for Image and Video Database V, San Jose (CF), pp.298-309(1997).
5. G. Voyatzis and I. Pitas, "Chaotic Mixing of Digital Images and Applications to Watermarking", Proceedings of European Conference on Multimedia Applications, Services and Techniques (ECMAST '96), Vol.2, pp.687-695 (1996)
6. G. Voyatzis and I. Pitas, "Embedding Robust Watermarks by Chaotic Mixing", Proceedings of 13th International Conference on Digital Signal Processing (DSP '97), Vol.1, pp.213-216(1997).
7. A.G Bors and I. Pitas, "Image Watermarking Using DCT Domain Constraints", Proc. Of IEEE Int'l Conf. On Image Processing, Vol.3, pp.231-234 (1996).
8. I. J. Cox, J. Kilian, F. T. Leighton, and T. Shamoan, "Secure Spread Spectrum Water- marking for Multimedia", IEEE Trans. On Image Processing, Vol.6, No.12, pp.1673- 1687(1997).
9. F. Hartung and B. Girod, "Watermarking of MPEG-2 Encoded Video without Deco- ding and Re-encoding", Signal Processing, Vol.66, pp.283-301(1998).
10. C.T. Hsu and J.L. Wu, "Hidden Digital Watermarks in Images", IEEE Trans. On Image Processing, Vol.8, pp.58-68(1999).
11. E. Koch and J. Zhao, "Toward Robust and Hidden Image Copyright Labeling", Proceeding of IEEE Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing, Neos Marmaras, Greece, June 1995.
12. P.-C. Su, C.-C. J. Kuo, and H.-J. M. Wang, "Blind Digital Watermarking for Cartoon and Map Images", Proceedings of SPIE Security and Watermarking of Multimedia Contents, Vol.3657,

- pp.296-306(1999).
13. M. D. Swanson, B. Zhu, and A. H. Tewfik, "Multiresolution Scene-Based Video Watermarking Using Perceptual Models", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.16, No.4, pp.540-550(1998).
 14. M. D. Swanson, B. Zhu, A. H. Tewfik, and L. Boney, "Robust Audio Watermarking Using Perceptual Masking", Signal Processing, Vol.66, pp.337-355(1998).
 15. J. Zhao, E. Koch, and J. Rindfrey, "Copyright Protection for Multimedia Data", Proc. of International Conference on Digital Media and Electronic Publishing, pp.203-213 (1996).
 16. A. G. Bors and I. Pitas, "Image Watermarking Using DCT Domain Constraints," Proceedings of 1996 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP '96), Vol. 3, 1996, pp. 231-234.
 17. I. J. Cox, J. Kilian, F. T. Leighton, and T. Shamon, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 6, No. 12, 1997, pp. 1673-1687.
 18. F. Hartung and B. Girod, "Watermarking of MPEG-2 Encoded Video without Decoding and Re-encoding," Signal Processing, Vol. 66, May 1998, pp. 283-301.
 19. E. Koch and J. Zhao, "Toward Robust and Hidden Image Copyright Labeling," Proceedings of IEEE Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing, Neos Marmaras, Greece, June 1995.
 20. P.-C. Su, C.-C. J. Kuo, and H.-J. M. Wang, "Blind Digital Watermarking for Cartoon and Map Images," Proceedings of SPIE Security and Watermarking of Multimedia Contents, Vol. 3657, January 1999, pp. 296-360.
 21. M. D. Swanson, B. Zhu, and A. H. Tewfik, "Multiresolution Scene-Based Video Watermarking Using Perceptual Models," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 16, No. 4, 1998, pp. 540-550.
 22. M. D. Swanson, B. Zhu, A. H. Tewfik, and L. Boney, "Robust Audio Watermarking Using Perceptual Masking," Signal Processing, Vol. 66, May 1998, pp. 337-355.
 23. J. Zhao, E. Koch, and J. Rindfrey, "Copyright Protection For Multimedia Data," Proc. Of International Conference in Digital Media and Electronic Publishing, 1996, pp. 203-213.
 24. Image protection via watermarking on perceptually significant wavelet coefficients *Houng-Jyh Wang; Kuo, C.-C.J.*; Multimedia Signal Processing, 1998 IEEE Second Workshop on , 7-9 Dec 1998 .Page(s): 279 -284
 25. C.T Hsu and J. L. Wu, "Multiresolution watermarking for digital images," IEEE Transactions on Circuits and System II: Analog and Digital Signal Processing, Vol.45, No.8, Aug. 1998, pp. 1097-1101.
 26. 林宸生, 影像與語音處理-數位信號. 全華科技圖書股份有限公司, 1999年11月, 二版二刷。
 27. 林宸生, 邱創乾, 陳德請, 數位信號處理. 高立圖書有限公司, 1996年7月, 初版。
 28. 鍾國亮, 影像處理與電腦視覺. 東華書局股份有限公司, 2002年6月初版。
 29. 陳同孝, 張真誠, 黃國峰, 數位影像處理影像技術. 松崗電腦圖書資料股份有限公司, 2001年3月, 初版二刷。
 30. 張真誠, 黃國峰, 陳同孝, 電子影像技術. 松崗電腦圖書資料股份有限公司, 2002年12月, 初版。
 31. 賴溪松, 韓亮, 張真誠, 近代密碼學及其應用. 松崗電腦圖書資料股份有限公司, 二版二刷, July 1998。
 32. 連國珍, 數位影像處理. 儒林圖書有限公司, 1999年3月二版。
 33. 王鴻彬, 強健性彩色數位浮水印之研究, 崑山科技大學電機系碩士論文, 2003年6月。

