

利用人類視覺模型和邊界線在大型影像中嵌入強韌性浮水印

Using a Human Visual Model and Boundary Lines for Embedding Robust Watermarks in Large Images

吳大鈞*(Da-Chun Wu)、馮志成(Chin-Chen Feng)

國立高雄第一科技大學 資訊管理研究所

National Kaohsiung First University of Science and Technology

Department of Information Management

dcwu@ccms.nkfust.edu.tw*, u9224804@ccms.nkfust.edu.tw

摘要

在科技快速發展的時代中，人類將資訊和知識數位化以保存智慧的結晶，而如何保護數位資料也成為重要的課題。浮水印為近年保護數位資料常使用的方法。頻率域的浮水印技術較強韌但是其運算時間十分冗長，並不適合大型影像。多數有價值的數位影像尺寸十分龐大。因此我們提出了一個簡單，有效率方法，利用人類視覺模型以及邊界線的定位機制，在空間域加入強韌的浮水印。在擷取浮水印的過程中利用了抽樣的概念，減低了大型影像可能的冗長運算時間，提升擷取過程的效率。

關鍵字：浮水印、人類視覺模型、邊界線、空間域、大型影像、抽樣。

1. 前言

數位多媒體隨著資訊科技的進步，廣泛被應用在各式各樣的領域，例如資訊的表達或呈現。但由於數位化的結果，資訊交換及傳輸較為容易，因此也造成許多所有權或版權上的爭議。浮水印 (watermark) [1] 技術在 1993 年被提出，為用來解決這些問題的主要技術。在數位多媒體上加入人類無法感知的浮水印，藉以判斷數位多媒體的來源，或是幫助擁有人確認其真實性。防止惡意侵權行為或不當使用，是浮水印最主要的功用。

浮水印技術可分為空間域和頻率域。在空間域上嵌入浮水印的方法大多做用在 RGB 的色彩模式上，常見的是最低位元 (Least Significant Bits: LSBs) 方法 [2]，不過 LSB 的強韌性 (robustness) 較為不足，攻擊者只需透過簡單的數學運算就可以將 LSB 所加入的訊息破壞。不過由於其簡單，且隱藏資訊量較大，仍然有許多基於 LSB 變形的被提出 [6][7]。而在頻率域嵌入浮水印的方法需先利用轉換公式如 DCT (離散餘弦轉換) [2]、DFT (離散傅立葉轉換) [2]、或 DWT (離散小波轉換) [2] 等，轉換至不同的頻率域中嵌入合適的浮水印。其優點是相對空間域較可以抵抗攻擊。因此多數強韌性浮水印的方法在用頻率域進行，但其轉換演算時間十分冗長，並不適合在大型影像 (大於 5000×5000 像素)。其次部份方法採用固定的區塊 (如 DCT)，當圖檔遭受放大縮小的攻擊時，偵測浮水印難度大為提升。

本文針對大型圖檔提出一個在空間域上嵌入強韌浮水印之新且有效率的方法，利用人類視覺模型 (human visual model) [3][4] 設計出二種樣版 (block patterns)。一種用來嵌入浮水印訊號，而另一種用來加入分界線 (boundary lines)，藉以幫住定位，讓被嵌入的浮水印更加強韌。在擷取浮水印的過程中不需要參考原圖，並利用抽樣的原理以增加擷取效率。

在樣版的設計上是不需要原圖就可以把浮水印擷取出來，使得本浮水印嵌入方法為

*Corresponding author.

blind 的方法，在價值上更為提高。除此之外我們在擷取浮水印的過程中利用了抽樣的觀念，以及浮水印的嵌入過程是在空間域上做處理，因而大大的減低了在大型影像上冗長的運算時間，提升了整體嵌入擷取過程的效率。

在本篇文章第二節說明本方法所採用的色彩模型；第三節中介紹本方法使用的人類視覺模型；於第四節說明嵌入浮水印過程；第五節闡述擷取浮水印的過程；第六節說明實驗結果；最後一節為結論。

2. 色彩模型

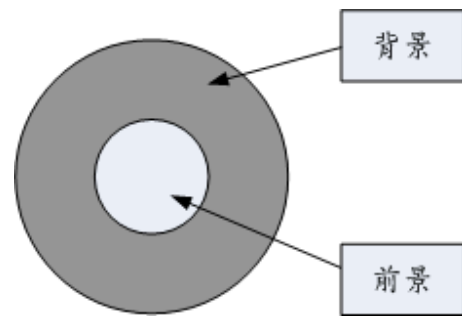
影像色彩模型中，最常使用的為 RGB 色彩模型。RGB 色彩模型之三個通道之像素值分別表現紅色、綠色、藍色色光的強度。透過三種色光的混合來表現出不同的顏色。而在這三種色光中，藍色色光的強度變化視覺較不易察覺，M. Kutter [8][9]提出在藍色通道上做微量的修改，以達到浮水印嵌入或資訊隱藏的目的。不過，一些失真性影像壓縮技術也針用此特性設計以達到高壓縮比（如 JPEG），所以利用前法所隱藏的訊號很容易會被破壞了。在本方法中，我們將 RGB 色彩模型轉換成 YCbCr 色彩模型，Y 代表明亮的程度（luminance），而 Cb 和 Cr 則代表色度（chrominance），透過下方的轉換公式可以將 RGB 色彩模型轉為 YCbCr[2]，

$$\begin{aligned} Y &= 0.299 R + 0.587 G + 0.114 B; \\ Cb &= 0.5 + (B - Y) / 2; \\ Cr &= 0.5 + (R - Y) / 1.6. \end{aligned} \quad (1)$$

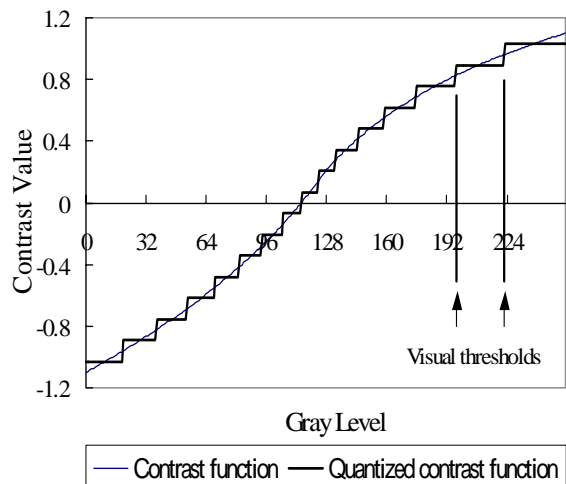
在人類的視覺效果中明亮度是最敏感的部份，也由於它的敏感，在大部份的彩色影像失真壓縮技術（如 JPEG），對其破壞的程度相對上比較小，因此我們選擇在 Y channel 上配合人類視覺模型使在人類的視覺效果不容易察覺的情況下嵌入浮水印。

3. 人類視覺模型

本方法所採用之視覺模型是以 Kuo 和 Chen[3] 所提出亮度對比函數為基礎，利用 Da-Chun Wu 和 Wen-Hsiang Tsai[5] 提出量化對比函數訂定出影像之前景 (foreground) 亮度改變而人眼無法感受其變化的亮度範圍。圖一為前景和背景的示意圖。圖二為在背景亮度為 60 之量化對比函數及其視覺門檻值 (thresholds) 的範圍示意圖。圖二中的每一個間距代表，在二個門檻值（如 192 和 224）之間的微量變化是人類的視覺所感覺不出來的。



圖一．前景色和背景色的意識圖。

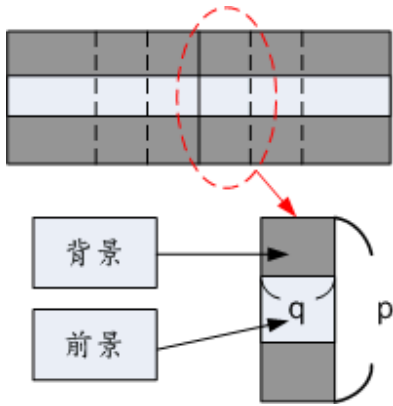


圖二．背景亮度平均為 60，所呈現之亮度對比函數。

4. 嵌入程序

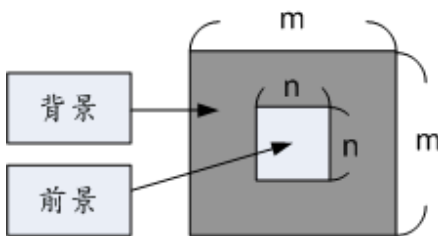
4.1 樣版設計

本方法以前節所提人類視覺模型為基礎，設計兩種樣版。第一種樣版為一個 $p \times 1$ 大小的區塊，用來做為邊界線訊號嵌入之用。 $p \times 1$ 區塊中包含了一個 $q \times 1$ 子區塊，本方法將在 $p \times 1$ 區塊中不包含 $q \times 1$ 子區塊之 $p - q$ 個像素視為背景之像素； $q \times 1$ 子區塊中之 q 個像素視為前景之像素。連續之多個 $p \times 1$ 區塊可形成一條邊界線，圖三為邊界線之示意圖。



圖三 . 邊界線的示意圖。

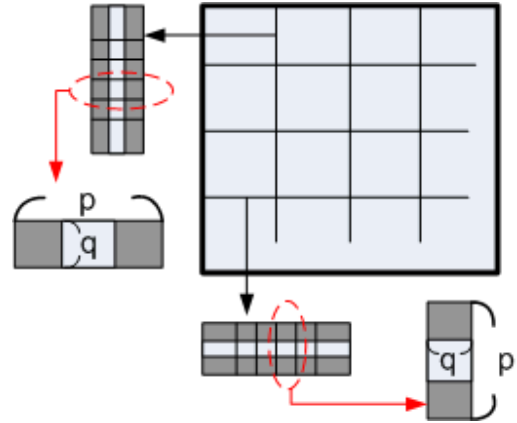
第二種樣版為 $m \times m$ 區塊，以嵌入浮水印資訊的本體。在 $m \times m$ 區塊中包含了一個 $n \times n$ 子區塊。本方法將在 $m \times m$ 區塊中不包含 $n \times n$ 子區塊之 $m^2 - n^2$ 個像素視為背景之像素； $n \times n$ 子區塊中之 n^2 個像素像素視為前景之像素。圖四為 $m \times m$ 區塊的示意圖。



圖四 . $m \times m$ 區塊的示意圖。

4.2 邊界線嵌入

在嵌入浮水印資訊前首先需嵌入邊界線。在影像之水平及垂直方向分別嵌入多條邊界線，各邊界線以多個 $p \times 1$ 區塊形成。邊界線間距為固定值 r ，水平與垂直邊界線所形成 $r \times r$ 區塊，可供嵌入浮水印資訊使用。圖五說明不同方向嵌入的邊界線及其構成樣版的的方向。



圖五 . 垂直和水平的邊界線及樣版。

組成邊界之 $p \times 1$ 區塊均各嵌入相同之邊界線訊號。邊界線訊號嵌入是在每個 $p \times 1$ 區塊中隱藏一個位元的資訊。 $p \times 1$ 區塊中央有一個 $q \times 1$ 的區塊，令在 $p \times 1$ 區塊中不包含 $q \times 1$ 區塊之 $p - q$ 個背景像素的像素值分別為 $b_i, i = 1..p - q$ ； $q \times 1$ 區塊中之 q 個前景像素的像素值為 $f_i, i = 1..q$ 。而背景之所有像素的亮度平均值為

$$\bar{y}_b = \frac{\sum_{i=1}^{p-q} b_i}{p-q} ; \quad (2)$$

前景之所有像素的亮度平均值為

$$\bar{y}_f = \frac{\sum_{i=1}^q f_i}{q} . \quad (3)$$

嵌入邊界線位元訊息的方式為調整前景像素之亮度值，方法為

$$f'_i = \min(f_i - \bar{y}_f + \bar{y}_b + T, 255), \quad (4)$$

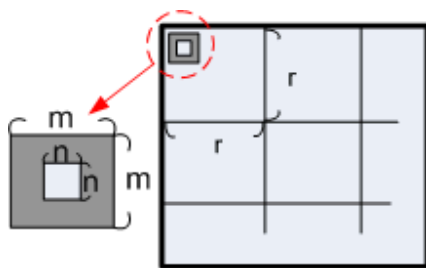
其中 f'_i 為 f_i 調整後之像素值， $i=1..q$ ， T 為可修改的亮度值。 T 值的大小設定與量化對比函數之視覺門欄值及背景區域之像素值標準差 σ_b 有關。 σ_b 可表示為

$$\sigma_b = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{p-q} (b_i - \bar{y}_b)^2}{p-q}}, \quad (5)$$

當 σ_b 的值越大時可 T 值相對變大；當 σ_b 的值越小時 T 值相對變小。這樣可以在不影響視覺的前提下在影像中嵌入強韌邊界線訊息。

4.3 浮水印嵌入

完成邊界線嵌入後，接著在水平與垂直邊界線所分隔的出的 $r \times r$ 區塊中進行浮水印資訊嵌入。嵌入之方法是將 $r \times r$ 區塊分割成不重疊之 $m \times m$ 區塊，在每個 $m \times m$ 的區塊中欲隱藏一個位元的浮水印訊號。 $m \times m$ 區塊中央有一個 $n \times n$ 的子區塊，圖六為 $r \times r$ 區塊分割成不重疊之 $m \times m$ 區塊的意識圖



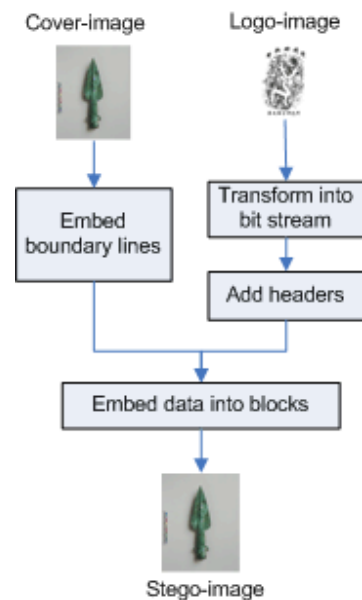
圖六． $r \times r$ 區塊分割成不重疊之 $m \times m$ 區塊的意識圖。

令在 $m \times m$ 區塊中不包含 $n \times n$ 子區塊之 $m^2 - n^2$ 個背景像素的像素值分別為 $b_j, j=1..m^2 - n^2$ ； $n \times n$ 子區塊中之 n^2 個前景像素的像素值為 $f_j, j=1..n^2$ 。嵌入浮水印位元資訊 w 的方法為

$$f'_i = \begin{cases} \min(f_i - \bar{y}_f + \bar{y}_b + T, 255) & \text{if } w = 1; \\ \max(f_i - \bar{y}_f + \bar{y}_b - T, 0) & \text{if } w = 0. \end{cases} \quad (6)$$

將要嵌入的浮水印訊息重複嵌入至整個影像中。圖七為說明浮水印嵌入的流程圖。

由於每條邊界線的相隔距離固定，所以每個 $r \times r$ 區塊中可嵌入訊息量相同。如果浮水印訊息過大，則需使用多個 $r \times r$ 區塊來嵌入一份浮水印。本方法在每個區塊中先嵌入額外的編碼訊息，以使在擷取過程中可以整合浮水印資訊



圖七． 浮水印嵌入流程圖。

5. 擷取程序

5.1 邊界線偵測

本方法首先需從影像中找出邊界線的精確位置才可以進而擷取所隱藏之浮水印訊息。邊界線訊號之擷取是利用 $p \times 1$ 區塊中內含 $q \times 1$ 子區塊之樣板與函數 $D(p, q)$ 擷取出邊界線訊號， $D(p, q)$ 可以表示為

$$D(p, q) = \begin{cases} \text{yes, } & \bar{y}_f \geq \bar{y}_b; \\ \text{no, } & \bar{y}_f < \bar{y}_b, \end{cases} \quad (7)$$

其中 \bar{y}_f 為在 $p \times 1$ 區塊中不包含 $q \times 1$ 區塊之前景像素的像素值平均， \bar{y}_b 為 $q \times 1$ 區塊所影像素的像素值平均。

本方法分別在水平及垂直方向循序擷取邊界線訊息以偵測邊界線。當水平或垂直方向某行、列發現邊界線訊號個數大於門欄值 t ，則將其視為邊界線。大型影像的像素數量十分龐大，因此本方法以亂數抽樣方式來加快偵測邊界線的速度。除此之外，偵測邊界線時由於影像可能已遭受攻擊，本方法利用所有相鄰邊界線之距離值投票 (voting) 來排除誤判之邊界線。

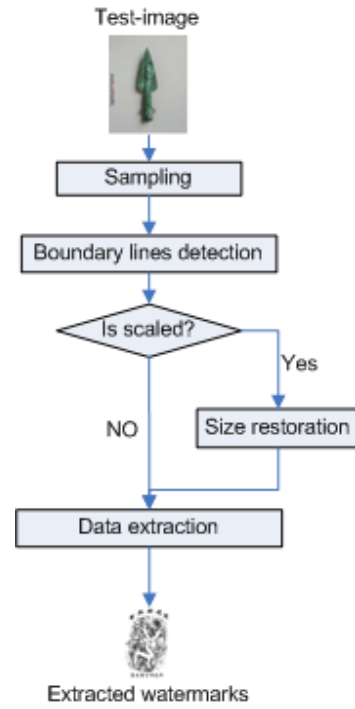
偵測出邊界線後，透過邊界線的資訊可以取得影隱藏浮水印之區塊位置以及區塊的大小，倘若區塊曾遭受尺寸放大縮小的攻擊，則先將區塊縮放回原先設定之固定尺寸大小，以利進行浮水印資訊的擷取。

5.2 浮水印擷取

取得邊界線所圍成 $r \times r$ 區塊的位置後，即可在每個區塊中擷取出所隱藏資訊。隱藏資訊之擷取是透過在 $m \times m$ 區塊中內含 $n \times n$ 子區塊的樣版，擷取出其中之位元訊號 w 。令在 $m \times m$ 區塊中不包含 $n \times n$ 區塊之 $m^2 - n^2$ 個像素的像素值為 $b_j, j = 1..m^2 - n^2$; $n \times n$ 區塊中之 n^2 個像素像素的像素值為 $f_j, j = 1..n^2$ 。 w 之擷取的方法為

$$w = \begin{cases} 1, & \frac{\sum_{j=1}^{n^2} f_j}{n^2} \geq \frac{\sum_{j=1}^{m^2-n^2} b_j}{m^2 - n^2}; \\ 0, & \frac{\sum_{j=0}^{n^2} f_j}{n^2} < \frac{\sum_{j=1}^{m^2-n^2} b_j}{m^2 - n^2}. \end{cases} \quad (8)$$

本方法在每個 $m \times m$ 區塊中取得的隱藏資訊，其中包含標頭資訊與浮水印訊號，本方法利用多數決的投票機制，來修正可能的錯誤，以完成擷取浮水印的程序。圖八為浮水印擷取流程圖。



圖八 . 浮水印擷取流程圖。

6. 實驗結果

本論文以『中央研究院2004浮水印技術評比』所提供的兩 8000×10013 大型全彩影像檔‘銅矛’與‘酒器’(圖九)實驗。浮水印影像(圖十)為 161×229 之黑白影像，使用電腦為Pentium 4-1.8 GHz。嵌入時間約需4分35秒，擷取時間約需4分40秒。利用PSNR (Peak Signal to Noise Ratios) 值來評估影像嵌入浮水印後之品質。擷取出之浮水印影像，以BER (Bit Error Rate) 來衡量技術之強韌性，BER的定義為

$$\text{BER} = \frac{\text{Number of Wrong Extracted Bits}}{\text{Number of Original Watermark Bits}} \quad (9)$$

圖十一為圖十嵌入浮水印後之結果影像，PSNR值分別為45.99dB與 45.19dB。圖十二為圖十一影像分別遭後Jpeg壓縮、鏡像、更模糊化、旋轉、剪裁連續攻擊後之結果影像與由此結果影像擷取出之浮水印影像及其BER值。圖十三為圖十一影像受到尺寸縮放的攻擊的結果影像與從其中所擷取出之浮水印影像及其BER值。

7. 結論

本文提出利用人類視覺模型配合邊界線的定位機制於大型影像中加入強韌浮水印的方法。因為本方法在空間域操作，擷取步驟又利用抽樣的概念，大大降低了在大型影像上嵌入、擷取浮水印時可能的冗長運算，使得執行非常有效率。

8. 致謝

本論文受國科會計畫NSC 93-2422-H-009-001 之部份經費支助。

參考文獻

1. A.Z. Tirkel, G.A. Rankin, R.M. van Schyndel, W.J. Ho, N.R.A. Mee, C.F. Osborne. "Electronic Water Mark." DICTA-93. Macquarie University, Sydney, pp. 666-672, Decmeber 1993.
2. Dugelay JL, Roche S, "A survey of current watermarking techniques. In: Katzenbeisser S, Petitcolas FA(eds) Information hiding techniques for steganography and digital watermarking." Artech House, Norwood, MA, pp 121-148, 2000.
3. Kuo, C.H., Chen, C.H., "A prequantizer with the human visual effect for the DPCM." Signal Processing: Image Communication 8, pp 433-442, 1996.
4. Kuo, C.H., Chen, C.H. "A vector quantizer scheme using prequantizers of human

visual effect." Signal Processing: Image Communication 12, pp 13-21, 1998.

5. Da-Chun Wu, Wen-Hsiang Tsai, "Embedding of any type of data in image based on human visual model and multiple-based number conversion." Elsevier Science B.V., pp 1511-1517, 1999.
6. Y.K.Lee, L.H.Chen, "A high capacity image steganographic model." IEE Proceedings Vision, Image and Signal Processing, pp 288- 294, 1999.
7. Y.K.Lee, L.H.Chen, "An adaptive image steganographic model based on minimum-error LSB replacement." Proceedings of the Ninth National Conference on Information Security, pp 8-15, May.14-15, 1999.
8. M. Kutter, F. Jordan, and F. Bossen, "Digital watermarking of color images using amplitude modulation." J. Electron. Imag., vol. 7, no. 2, pp 326-332, 1998.
9. Kutter, M., Winkler, S., "A vision-based masking model for spread-spectrum image." Image Processing, IEEE Transactions on Jan. pp 16 - 25, 2002.



(a)



(b)

圖九 . 實驗所採用的大型影像資料。(a) 銅矛；(b) 酒器。



圖十 . 黑白浮水印影像。



(a)



(b)

圖十一 . 圖九(a)、(b)分別嵌入浮水印後的結果影像。(a) 銅矛(PSNR=45.99dB)；(b) 酒器(PSNR=45.19dB)。



(a)



(b)



(c)



(d)

圖十二 . (a) 圖十一(a)受到多重連續攻擊 (Jpeg、鏡像、更模糊化、旋轉、剪裁) 後之結果影像 ; (b) 圖十一(b)受到多重連續攻擊 (Jpeg、鏡像、更模糊化、旋轉、剪裁) 後之結果影像 ; (c) 由圖十二(a)擷取出來的 浮水印影像(BER為0.001439) ; (d) 由圖十二(b)擷取出來的 浮水印影像(BER為 0)。



(a)



(b)



(c)



(d)

圖十三 (a) 圖十一(a) 受到尺寸放大20% 攻擊後所擷取出的浮水印影像(BER為0.000325) ; (b) 圖十一(a) 受到尺寸縮小30% 攻擊後所擷取出的浮水印影像(BER為0.002361) ; (c) 圖十一(b) 受到尺寸放大20% 攻擊後所擷取出的浮水印影像(BER為0.000922) ; (d) 圖十一(b) 受到尺寸縮小50% 攻擊後所擷取出的浮水印影像(BER為0)。