

印刷影像於多重色版加密之浮水印技術

Multi-channel Watermarking Technique of Printed Images

*李俊逸(Li, Jiun-yi), **周遵儒(Chou, Tzren-ru), ***王希俊(Wang, His-chun)

摘要

本研究針對印刷影像的特性，提出一個新的數位浮水印加密技術，簡稱為多重色版浮水印技術(Multi-channel Watermarking Technique, MCWT)。MCWT 可以將圖樣或文字隱藏在印刷影像的多重色版中，並且實際輸出到紙張上。解密時只需使用設計過的光柵透鏡便可直接觀察到所隱藏的資訊，不用經過複雜的計算。實驗結果顯示在青色及洋紅色版中 15 至 30 百分比網點面積為最佳的加密條件，同時依相對應的網屏角度來調整網點位置可以獲得較良好的解密效果。

Abstract

In this paper, we proposed a new digital watermarking method, called Multi-channel Watermarking Technique (MCWT), for the printed images. It embeds a hidden pattern into the original exhibited one in the multiple color channels and prints the watermarked results on the real paper. Then, the designed optical lens can extract directly the embedded pattern without the need of any complicate computation. Some experiments were performed. The experimental results show that the embedded image should be hidden in both cyan and magenta channels with the 15-30% size of the dot area. Meanwhile, these dots in the different channels are shifted along their screening angles.

關鍵詞：數位浮水印、半色調技術、資料隱藏、CMYK 色彩模式、網點面積、網屏角度

Keywords: Digital watermark, Halftone, Data hiding, CMYK color model, Dot area, screening angle

目 錄

壹、緒論.....	90
貳、多重色版加密技術.....	90
參、印刷參數調整.....	91
肆、實驗結果.....	92
伍、運用數位影像處理解密.....	94
陸、結論.....	95

*李俊逸：國立臺灣師範大學圖文傳播學系碩士研究生/National Taiwan Normal University, Department of Graphic Arts Communication, Master student

**周遵儒：國立臺灣師範大學圖文傳播學系副教授/National Taiwan Normal University, Department of Graphic Arts Communication, Associate Professor

***王希俊：國立臺灣師範大學圖文傳播學系副教授/National Taiwan Normal University, Department of Graphic Arts Communication, Associate Professor

壹、緒論

當數位影像要輸出成印刷圖像時，必須先將 RGB 格式轉換成 CMYK 格式，加上印刷輸出是利用網點組成的大小或疏密不同模擬連續調影像的色彩及層次感，因此必須將其原本 0 至 255 的影像灰階資料透過二值化的方式轉換成 0 或 1 數據顯示的二階影像，此一過程稱之為半色調化 (Halftoning) [1][2][6]。印刷輸出的網點形式主要有兩種，一是調幅網點 (Amplitude Modulation, AM)，其輸出的網點中心間距相等，利用網點大小的差異來表現色彩的濃淡；另一是調頻網點 (Frequency Modulation, FM)，所輸出的網點大小一致，藉由網點排列的間距疏密不同來表現色彩的深淺。由於印刷過程會受到網點擴大的影響，使得調頻網點的複製較為困難，目前印刷所使用的網點仍是以調幅網點為主。

加密技術是指在原始資料中加入隱藏資訊 (可能是影像、文字或聲音) 的方法，藉以達到版權的檢驗和認證，或是用於防止非法偽造、變造。這些被嵌入的隱藏資訊一般被通稱為浮水印 (Watermark)，浮水印可廣義區分成可視和不可視兩種：可視的浮水印製作處理過程簡易，相對也較容易被消除或變造，主要用於影像和文件的版權認證或真偽判別；而不可視的浮水印應用範圍較為廣泛，其具有不易被人眼所察覺的特性，因此在資料隱藏、版權保護等方面均有不錯的成效，所需的製作處理過程更加複雜，耗費的時間較多。

而針對半色調影像的特性，有一些相關的加密技術被提出來[9][10][11][12]：利用兩個不同的亂數矩陣分別對原始影像進

行半色調化，因為這兩個矩陣具有不同的統計特性，可透過統計檢測還原出加密的內容；同時利用隨機樣式網屏和成對半色調網屏，使這兩個網屏形成兩個半色調影像，再透過兩個網屏之間的關聯性來將資料嵌入影像中。對上述這些方法而言，當只有其中一張半色調影像的情況下，被隱藏的圖像資料無法被還原的，只有在兩張半色調影像皆存在時隱藏資料才能被解密還原。有些方法[3][4][5][7][8]則是設計兩種不同的臨界值矩陣，在影像半色調化過程中將 0 或 1 的編碼序列加入影像中，再透過矩陣比對的方式取出正確的二元密碼；或者是在影像半色調過程中直接將二位元密碼置入二階影像中，以及加入容錯碼 (Error Correction Code, ECC) 的設計以提高解密的正確性，並且透過隨機補償的方式降低密碼隱藏後對影像造成的失真或破壞。

這些方法各自有其優點與缺點，以及加密條件的限制，相同的是當隱藏資料量越大時，對影像品質的影響會越嚴重，甚至失去資料加密的意義。因此，在研究的過程中必須對於加密技術的原理，以及原始影像資料的特性有完整的了解，才能獲得最佳的加密效果。

貳、多重色版加密技術

本研究所提出的多重色版加密技術 (Multi-Channel Watermarking Technique, MCWT) 是透過數位影像處理的方式先在印刷影像四個不同色版中完成加密處理後，經過實際輸出到紙張上後再進行解密的步驟。浮水印加密的方式是藉由調整色版中半色調調幅網點的位置，使其與原始位置產生特定的偏移差距，當透過所對應

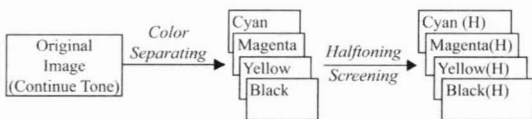
的光學透鏡（簡稱為光柵）觀察加密印刷品時，即可以看出所隱藏浮水印圖樣（如圖一所示）。



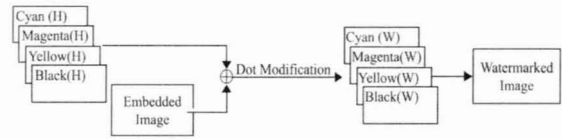
圖一 MCWT 加密後及解密後所觀察到的印刷影像 (a) 加密後的實際輸出影像 (b) 透過 75Lpi 光柵觀看的影像，在影像右上角可看出隱藏的 VIP 字樣

一、加密原理

首先將原始影像經過分色程序 (Color Separating) 得到青色、洋紅色、黃色、黑色四個色版後，分別依據不同的網屏角度進行半色調化產生調幅網點的印刷影像 (如圖二所示)。接著依據半色調過網時所使用的印刷解析度來決定網點偏移所需調整的距離，並且在欲加密的色版中選擇隱藏圖樣區塊後進行網點偏移，合併各色版後即得到具多重色版加密成效的印刷影像 (如圖三所示)。



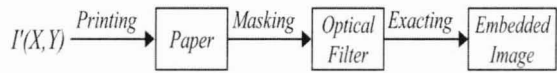
圖二 印刷影像分色程序



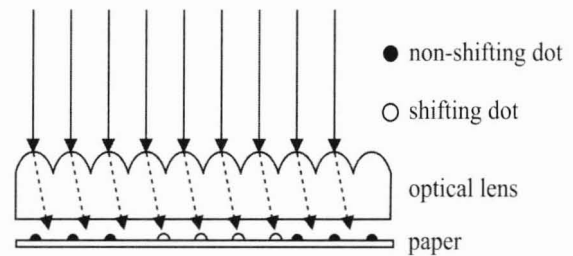
圖三 MCWT 加密程序

二、解密原理

加密影像在解密時是直接透過光柵的覆蓋來進行，當光柵旋轉至相對應的角度方向時，人眼即可觀看到所隱藏的浮水印圖樣 (如圖四所示)。其原理是由於光柵具有折射光線的特性，使得原本人眼無法直接察覺到網點偏移區塊和原始影像網點之間的差異被強化突顯出來，進而解出隱藏的浮水印資訊。而解密所使用的光柵同樣必須依據加密時的設定條件來決定，其主要結構及解密方式如圖五所示。



圖四 光柵解密程序



圖五 光柵結構分析剖面圖

參、印刷參數調整

當影像加入浮水印後 (例如加入一個商標、圖樣或一串文字)，便會改變原始圖檔影像的內容，甚至破壞了原始影像的價值與美觀。因此在製作浮水印時，必須在影像品質與浮水印隱密性之間取得一個

平衡，本研究即針對影響印刷半色調影像輸出結果的變項因素對 MCWT 的成效進行實驗及評估：(1) 色版、(2) 網點面積、(3) 網點位移角度。在比較其與原稿影像的差異及解密時的視覺品質後，找出最佳的加密條件。

(1) 色版

印刷影像的色彩複製是由 CMYK 四色所組成，並且使用不同的網屏角度進行半色調過網，在經過印刷油墨輸出後人眼對不同色版的感受會有差異。實驗中分別在不同色版中加入浮水印，評估實際輸出後的影像品質與解密成效。

(2) 網點面積

印刷過程中網點擴大 (Dot Gain) 是影響輸出品質的主要因素，由於 MCWT 是利用網點偏移的方式來達到浮水印的隱藏，因此受網點擴大的影響更為顯著。實驗中在不同的網點面積條件下進行浮水印加密，在各別評估輸出影像的加密成效後，找出加密時適當的網點面積條件。

(3) 網點偏移角度

在進行網點偏移時，本研究採用兩種不同的偏移方式，一種是各色版均採取水平方向偏移，另一種則是分別根據各色版對應的網屏角度方向進行位移，目的在於比較錯網現象 (Moiré Pattern) 對於解密成效的影響。

肆、實驗結果

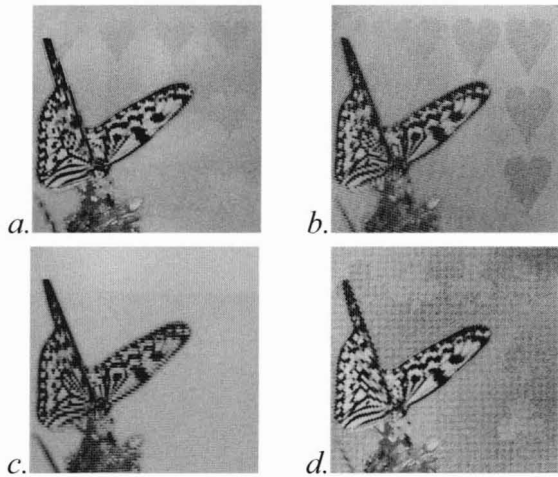
本研究實驗使用的 MCWT 加密條件為 150Lpi 的印刷解析度及 4pixel 的網點偏移量，解密時所使用的光柵條件為 75Lpi。在實驗圖檔的設定方面，列印尺寸為 2.9cm×2.9cm，影像尺寸為 1370pixel × 1370pixel，解析度為 1200dpi，過網角度分別為 C 版 15 度、M 版 75 度、Y 版 0 度、K 版 45 度，過網線數為 150LPI。模擬輸出時所用的設備與材料是 EPSON PHOTO 810 及 EPSON 噴墨專用相紙。

加密前後影像品質的評估方式是分別將未加密的半色調影像原稿及使用 MCWT 加密後的半色調影像經過實際輸出後再掃瞄成數位影像，計算出 PSNR 值 (Peak-Single-to-Noise Ratio) 作為分析的依據，PSNR 的定義如下：

$$MSE = \left(\frac{1}{M \times N} \right) \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (x_{ij} - \hat{x}_{ij})^2$$
$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{MSE}$$

(1) 色版

實驗結果發現，MCWT 在 C 版跟 M 版上加密能獲得較佳的成效，在影像品質和解密效果都有較佳的表現。Y 版由於顏色特性的緣故，看不出解密效果，K 版則是由於色調過深，加上過 45 度的網屏角度，在加密影像上會形成規則性的 Pattern，破壞整體影像品質，影響加密效果。見圖六及表一。



圖六、各色版解密成效 (a) 青版 (b) 洋紅版 (c) 黃版 (d) 黑版

表一、各色版加密後 PSNR 比較表

PSNR	青色版	洋紅色版
	42.4327	42.1650
	黃色版	黑色版
	40.7333	23.9000

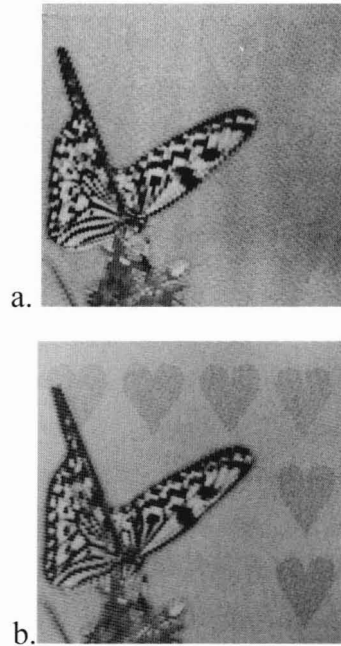
(2) 網點面積

實驗結果發現，當加密之影像網點面積超過 30% 的條件下，會因網點擴大所造成的相互干涉影響，而導致解密困難度增加；而在網點面積 15% 以下則會因網點分佈過於稀疏，而造成影像加密後的品質下降，同時加密效果也不佳（因為加密處會變明顯）。故本研究認為較佳的加密網點面積範圍為 15%~30%。

(3) 網點位移角度

實驗結果發現，原本採用固定水平位移像素的方式，雖可成功解密，但加密時會形成光干涉所產生的錯網現象，影響解密內容的

判別；而配合網屏角度移動像素的方式，在解密的過程中可改善甚至消除前者所有的光干涉現象，讓解密的內容更加容易被判讀，如圖七及表二所示。



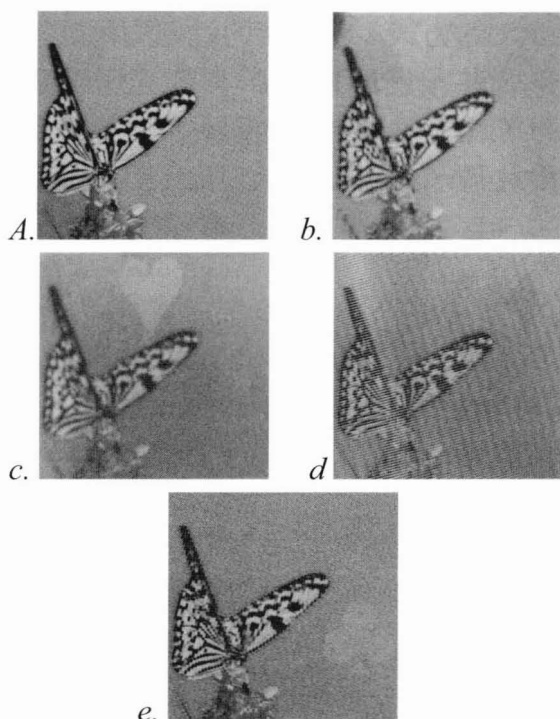
圖七、不同網點偏移方式解密結果 (a) 依水平方向偏移網點 (b) 依色版網屏角度方向偏移網點

表二、不同網點偏移方式加密後 PSNR 比較表

	依水平方向 偏移	依色版網屏角度 方向偏移
PSNR	41.1302	40.2107

(4) 綜合結果

配合上述幾項實驗所發現適當加密條件，進一步在 C 版跟 M 版同時加密，而從實際輸出結果中，透過旋轉光柵片的角度，可成功解出兩個色版所加的密碼；另外在同一色版裡改變網點位移的方向，則可達到在相同色版中進行多重加密的效果，增加了加密內容的多樣性。



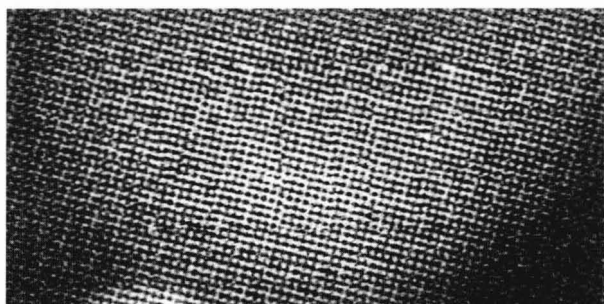
圖八、單張影像中隱藏多重浮水印之解密結果
 (a) 多重加密後輸出影像 (b) 解密後所得浮水印圖樣一
 (c) 解密後所得浮水印圖樣二
 (d) 解密後所得浮水印圖樣三 (e) 解密後所得浮水印圖樣四

伍、運用數位影像處理解密

除了利用光學解碼透鏡進行解碼外，本研究一方面也運用數位影像處理的相關原理，經由運算處理後解出所隱藏的影像。將 MCWT 加密後實際輸出的印刷影像使用高解析度掃描輸入，取出影像中加密色版的部分作為解密用之實驗影像（見圖九）。接著於實驗影像中設定四個控制點作為座標轉換的對應點（ $u_1v_1, u_2v_2, u_3v_3, u_4v_4$ ），網點相對位置的座標則設定為（ $x_1y_1, x_2y_2, x_3y_3, x_4y_4$ ），其轉換對應關係可以下式表示：

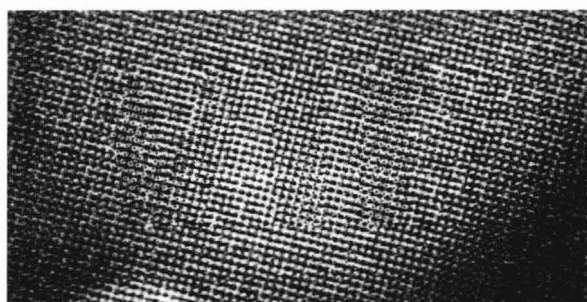
$$\begin{bmatrix} u_1 & u_2 & u_3 & u_4 \\ v_1 & v_2 & v_3 & v_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_0 & a_1 & a_2 \\ b_0 & b_1 & b_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ X_1 & X_2 & X_3 & X_4 \\ Y_1 & Y_2 & Y_3 & Y_4 \end{bmatrix}$$

$$U = AX, A = U(X^T)(XX^T)^{-1}$$



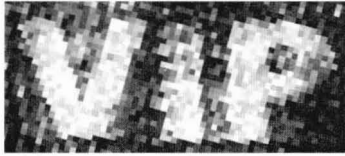
圖九、經掃描後取出的加密色版影像

U 代表實驗影像的控制點座標， X 代表網點相對位置的座標，兩者計算後可得一轉換關係矩陣 A ，運用此一關係矩陣可在實驗影像中定出預設範圍內網點分佈的位置，以利之後數位解密程序的進行（見圖十）。



圖十、經運算後所得影像中網點分佈位置

得到網點分佈位置後計算各點的灰階值，如果對應網點未偏移，所讀出灰階濃度較高；如果所對應網點有偏移，則讀出背景部分較低的灰階濃度，經過比對運算後即可將隱藏圖案解出，如圖十一所示。



圖十一、經運算後所得影像中網點分佈位置

陸、結論

本研究依據印刷的輸出特性，將數位浮水印加在影像中不同色版或不同網屏角度，藉此達到多重隱藏的防偽效果，透過旋轉光柵即可以在不同角度解出所隱藏的浮水印。

根據實驗結果本研究認為青版與洋紅版隱藏浮水印的成效佳且解密結果清晰；而在網點面積 15~30% 的部分進行加密可以獲得最佳的解密效果；依網屏角度位移可以消除解密時所產生的光學干涉條紋，提高解密結果判讀的完整性。建議後續研究者可以針對改變網點形狀、提高網線數與解析度以及更改半色調方式等等變項因素做更深入的研究及探討。

參考文獻

- [1] Graphic Arts Publishing, "Color Separation Techniques," 3rd, 1989.
- [2] J. A. C. Yule, "Principles of Color Reproduction," John Wiley & Sons, Inc.
- [3] Graphic Security Systems Corporation, Scrambled Indicia®.
<http://www.syndtech.com/gssc/indicia.html>
- [4] Ming Sun Fu and Oscar C. Au, "Data hiding watermarking for halftone images," IEEE Transactions on image processing, vol. 11, no. 4, pp. 477-484, April 2002.
- [5] Hagit Zabrodsky Hel-Or, "Watermarking and copyright labeling of printed images," Journal of Electronic Imaging, vol. 10, no. 3, pp. 794-803, July 2001.
- [6] Murat Mese and Vaidyanathan, "Recent Advances in Digital Halftoning and Inverse Halftoning Methods," IEEE Transactions on Circuits and Systems-I: Fundamental Theory and Applications, vol. 49, no. 6, June 2002.
- [7] Alasia and Alfred V., "Process of coding indicia and product produced thereby," U.S. Patent 3 937 565.
- [8] David L. Hecht, "Printed Embedded Data Graphical User Interfaces," IEEE Computer, pp. 47-55, March 2001.
- [9] W. Bender, D. Gruhl, N. Morimoto, and A. Lu, "Techniques for data hiding," IBM Systems Journal, vol. 35, nos. 384, pp. 313-335, 1996.
- [10] Y. Shih and Y. T. Wu, "Combinational image watermarking in the spatial and frequency domains," Pattern Recognition 36, pp. 969-975, 2003.
- [11] Jonathan K. Su, Frank Hartung, and Bernd Girod, "Digital watermarking of text, image, and video documents," Compute & Graphics, vol. 22, no. 6, pp. 687-695, 1998.
- [12] Phen-Lan Lin, "Digital watermarking models for resolving rightful ownership and authenticating legitimate customer," The Journal of Systems and Software 55, pp. 261-271, 2001.