

第四章 實驗結果與討論



第一節 影像處理

在取得數位影像進行網點偏移演算法後，經輸出過程至實體影像上，仍保有其浮水印之資訊，當中的相關參數設定便是需要考慮的。針對數位影像進行處理，包括數位分色、色階分佈和輸出控制等。從前製端便開始作業，以單一色版中之平網區域設計，色版之選擇，以及版面之編排等，讓實體成品整體一致性，並提高其防偽功能。

將已嵌入浮水印之數位影像中，為使經輸出及掃瞄(print-and-scan)後，依然能將隱藏資訊解密出來，選擇正確的相關條件是必需的。以本研究實驗為例，印刷品之底紋網點，針對青色(cyan)版做網點偏移，使用 75 lpi 的網線數設定，其他色版則是以正常之過網方式，目的使加密後之影像與原稿影像不易被察覺其品質之損失。

因此，建立一套獨立完整的系統，由於輸出至解密經過(print-and-scan)的過程，且經由偵測、定位與特定解碼演算法。而輸出設備的解析度必須達到一定的要求才能將影像中的隱藏資訊表現出來。另外在擷取影像時，數位化掃描取樣是會對影像品質降低，利用掃描器擷取影像時需考量輸出影像的解析度。

在本研究的實驗中，以 75 lpi 輸出參數設定為例，輸出解析度為 600 dpi 來進行，依照取樣定理而言[7][8]，在數位化取樣同時，取樣訊號需要比原始訊號高出兩倍或以上，原始訊號才可能正確地被複製與重建。所以，對於在解密的輔助工具的規格選擇，便需依在數位影像處理之參數設定為基準。

第二節 數位解密

在數位解密上，我們使用兩套方法進行。首先，是以遮罩進行解密，它的好處是在於不需複雜的演算，將一正常數位半色調之底紋網點，如圖 4-2，與其網點經偏移過後的影像來做比擬，如此便可將浮水印之輪廓邊緣偏移的網點，對照而顯現出其隱藏資訊之內容。

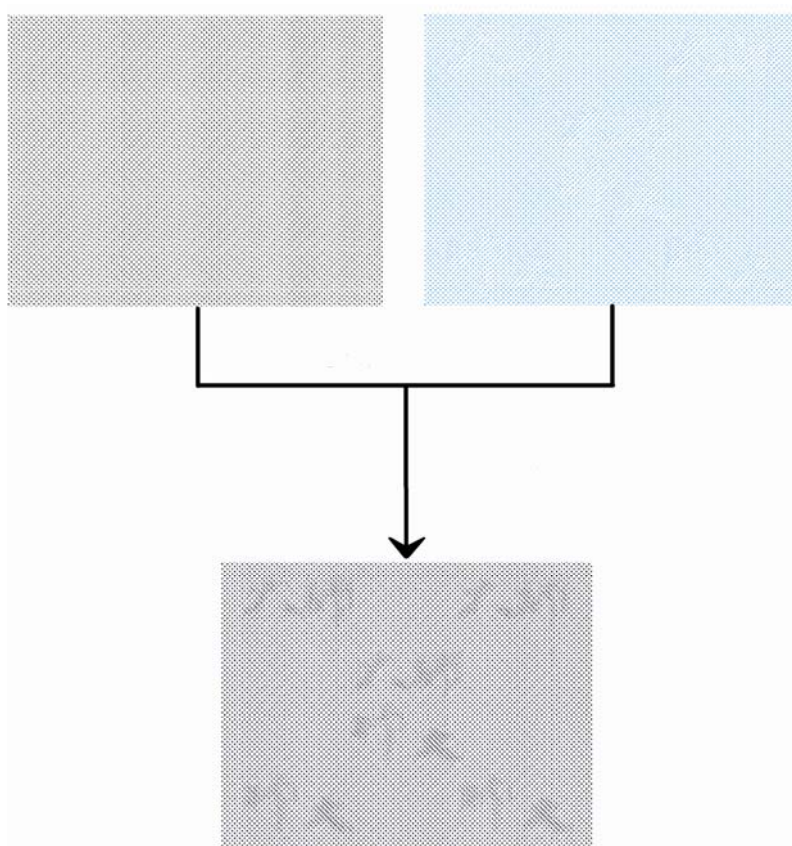


圖 4-1: 以數位模擬比較進行判讀隱藏內容之系統圖

以圖 4-1 為說明，我們可以發現到將已加密過後之影像，與其之前設計之數位半色調網點進行相關性比較。其中隱藏資訊可因此而顯現出來，這段解密的流程是在於將數位影像至實體輸出前的預先檢視，目的是確保成品的影像表現，不但要將浮水印嵌入的品質良好，也要兼顧其整體印刷品之版面設計。

在另一套解密系統為輸出後列印再經掃瞄，將數位檔案做幾何轉換，對數位影像做座標之定位，掃描後影像無顯著的失真情形則較利於定位。

由於掃描後之數位影像需做定位校正的動作，故利用座標轉換方程式以式 4.1 來進行影像校正。本研究以手動的方式找出影像邊緣上具代表的四個座標點， (u_1, v_1) 、 (u_2, v_2) 、 (u_3, v_3) 、 (u_4, v_4) ，將對應之網點座標取在 (X_1, Y_1) 、 (X_2, Y_2) 、 (X_3, Y_3) 、 (X_4, Y_4) 。

藉由轉換方程式 $U=AX$ ， U 是影像掃描後的座標， X 是網點的座標， U, X 已知，找出轉換關係 $A=UX^T(XX^T)^{-1}$ 即 $a_0, b_0, a_1, b_1, a_2, b_2$ ，為影像定位參數。

$$\begin{bmatrix} u_1 & u_2 & u_3 & u_4 \\ v_1 & v_2 & v_3 & v_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_0 & a_1 & a_2 \\ b_0 & b_1 & b_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ X_1 & X_2 & X_3 & X_4 \\ Y_1 & Y_2 & Y_3 & Y_4 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(4.1)$$

其中 (x, y) 為原始影像上的坐標系，以 X 表示， (u, v) 則為經幾何轉換後的對應點坐標系，以 U 表示，轉換矩陣之係數 a_i 及 b_i ($i=0, 1, \dots, 2$)，以 A 表示，矩陣 X 與 U 為已知控制點坐標矩陣， A 為未知，則上式可寫成式 4.2

$$U=AX \dots\dots\dots (4.2)$$

欲得知 A 矩陣之係數，至少需要三組以上的控制點，並可將 A 內容部份解出，其解為式 4.3

$$A = UX^T(XX^T)^{-1} \dots\dots\dots (4.3)$$

以圖 4-2 為例，(a)為原個人化郵票之掃瞄後的影像，(b)則是將圖 4-2(a)中附籤部份取出，因為那是經多網屏角度的網點偏移且已加密的區域。以方程式 4.1 與 4.2 將掃瞄後的影像，進行選取定位座標點。這個動作是希望數位影像之每個像素點，為它們做一個位置上的宣告。讓取樣影像與原稿影像，相互比較之下，可以順利地完整重建原來的資訊。



(a)



(b)

圖 4-2: (a)加密影像之座標點定位的示意圖，(b)判讀隱藏資訊“95.7.6”

在經過座標點的定位後，取出原進行網點偏移中，影像的青色(cyan)部份，再將之轉換為青色的灰階影像，並與原始影像相對比較。本研究可以發現，在網點偏移的區域，因為，網點位置與正常未偏移的網點有些許差異，如果以掃瞄器進行數位化取樣，可能會因有取樣不足(under sampling)現象，便對灰度值在偏移網點產生叢聚的效果，進行可以將浮水印之內容解出。與前段所提之數位解密比較，經列印後掃瞄的解密效果明顯會失去些許資訊。

第三節 輸出解密

在本節研究實驗中，以光學解碼器（或稱光柵板）來做為輸出解密之輔助工具，它是一組排列整齊的柱狀凸透鏡組，如圖 4-3 所示。經過演算法後的印刷品之底紋網點，透過光學解碼器的柱狀凸透鏡聚焦在網線上，便以此差異將使浮水印顯現出來。

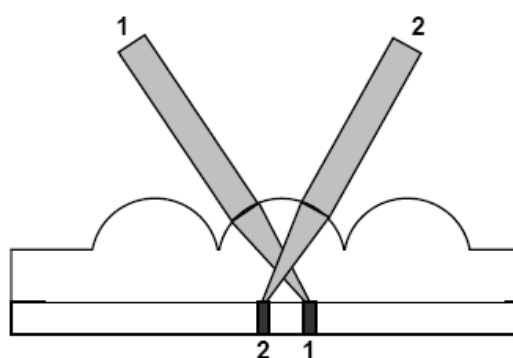


圖 4-3: 光學解碼器之原理示意圖[34]

我們以圖 4-3 為例說明，在 1 與 2 的光束入射時，經過光柵的柱狀凸透鏡，便可發現其經折射後所偏移所該對應之位置，以此概念進行資訊隱藏。

如果我們使用非 75 lpi 或兩倍以上的光學解碼器進行判讀隱藏資訊，會因取樣頻率高於影像訊號，使加密區域中間隔的非加密區域易顯示 Y,M,K 的墨點，會因為取樣頻率的不同，而產生干擾紋(moiré)的現象，使得浮水印品質內容上受到影響。

因此，在底紋網點濃度設定上，青版(cyan)在不同百分比濃度值，有著不同的判讀隱藏資訊的品質。如百分比濃度過低，會導致浮水印圖案結構易破碎；而濃度過高，會讓底紋之浮水印輪廓易突出，使肉眼觀看明顯感。

本實驗中在青色版方面，以 0%-30% 網點灰階值之間為主要色彩複製範圍，其餘三個色版設定在 0%-20%，使之以肉眼觀看協調並以光學輔助儀器的清楚判讀，如圖 4-4 表示以光柵判讀偏移網點的情形，圖中黑色網點為正常位置的網點，而青色網點則表示經偏移位置的網點。

以上的條件是考慮數位半色調過網的偏移過程，與輸出設備特性造成網點擴張的參數組合。另外，我們應用於有價證券中是以個人化郵票為例，由於個人化郵票是使用數位印刷的流程，所以，對於印前作業對數位色彩的設定，與輸出設備間的關係，會影響實際成品的印刷品質與解密難易。

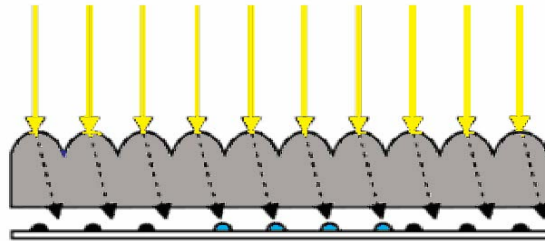
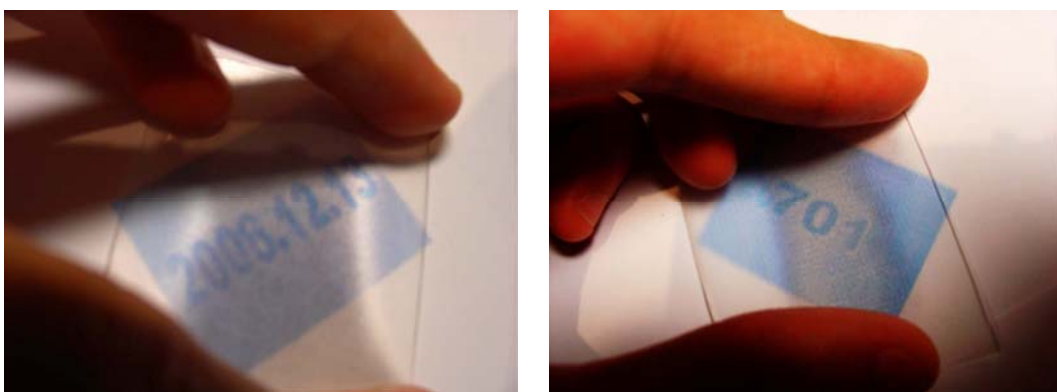


圖 4-4: 以光柵進行判讀偏移網點之示意圖



(a)

(b)

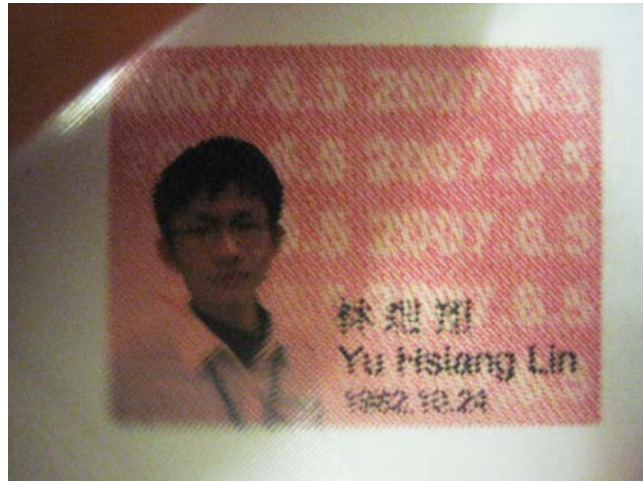
圖 4-5: 以光柵在不同角度至輸出列印相同區域解密之情形

(a) 旋轉光柵 45° 隱藏資訊為 “2006.12.13”

(b) 旋轉光柵在另一 45° 隱藏資訊為 “701”



(a)



(b)



(c)

圖 4-6: 在洋紅色版平網區域進行光柵不同角度解密情形

(a)45° 解密 "NTNU 69472009", (b)另 45° 解密 "2007.6.5", (c)15° 解密 "Y.H.LIN"

實際輸出印刷品如圖 4-5 和 4-6 所示，使用本研究所研擬出的不同角度的網點偏移演算法，在同一區域中，做不同網屏角度的資訊隱藏，充分運用每一平方公釐的印刷區域，並增加不同浮水印於輸出列印之影像中。

本研究發現到，在同一個網屏角度的解密過程中，對於另一個角度所隱藏之資訊，並不會相互干擾到彼此的浮水印品質，這樣讓實體影像所嵌入之浮水印的內容可更多樣化或個人化，資訊隱藏之容量也因此而得到提昇。

另外，在本研究的實驗中，我們亦使用此技術應用於有價證券與產品設計上。以圖 4-7 中在天空部份的底紋網點，便是我們做資訊隱藏之區域。本研究頓欲加密之平網區域，選定青版設定在 0-30%，另外，對色彩輸出之墨量濃度控制在 80% 上下，亦可搭配洋紅版或黃版的 0-5%，以使得平網區域之浮水印不易被人眼所察覺，不但可以讓浮水印在解密時清楚，而對網點擴大的問題亦不會受到嚴重的影響。而圖 4-8 則是表示實際結合產品設計，我們也是利用網點偏移的概念，將隱藏資訊設計為具特殊意義之內容，主要是產品日期以及流水編號。



圖 4-7 網點偏移於個人化郵票之設計

(a) 為實際拍攝輸出列印後之原稿影像，(b) 為旋轉光柵 45° 解密情形 “NTNU”

(黑色攝影照片由世新大學圖文傳播暨數位出版學系蔣載榮老師所提供)

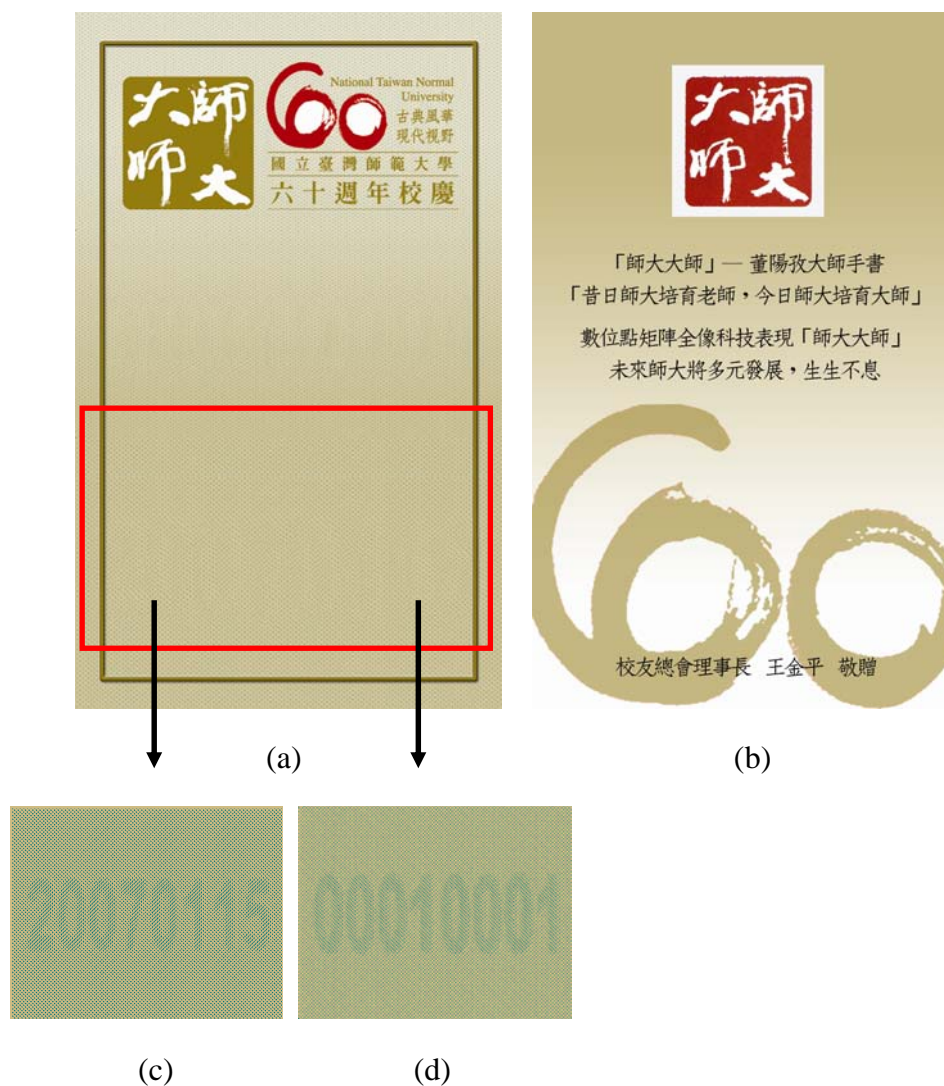


圖 4-8: 網點偏移技術結合產品設計

- (a)為資訊隱藏之範圍，(b)為產品說明之背面
- (c)為由光柵進行順時針 45°解密 “20070115”
- (d)為由光柵進行逆時針 45°解密 “00010001”

本研究成功地將此技術應用於印刷品之底紋網點，是以「師大大師」藝品部份為實驗對象，對於藝品鑰環之背紙做加密防偽與加值應用。在資訊隱藏的內容設計上為「日期時間」與「流水編號」，並可在不同網屏角度中，用光學解碼器在不同角度進行判讀浮水印內容。讓典藏之數位內容，輸出至實際成品上仍保持數位浮水印的功能，並具有多重防偽功能與依客製化設計。

第四節 品質分析

當數位影像經過不同的處理，包括嵌入數位浮水印、半色調影像等，對於找尋出經處理過之影像與原始影像間相似程度是重要的。因此，要以客觀的方式來評量影像間的相似程度。在本節中將介紹較常使用之 PSNR(Peak Signal-to-Noise Ratio)、半色調影像評估之 MPSNR，以及模擬人眼之人眼模式等影像品質評估方法。

所以，本研究針對自行設計之網點型態與網點偏移後，與原稿影像進行比對其相似程度，說明本研究結果之客觀評估標準。以 MSE 與 PSNR 相互去做計算各種不同方式加密後之影像，可以發現以往的方法有較多失真之情形。

客觀的評量方式找尋出影像 A'與 A 間的相似程度，先以下列公式 4.4 計算影像 A'與 A 間的 MSE 值，假設此一影像大小為 N×N：

$$MSE = \frac{1}{N^2} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} (A'(x, y) - A(x, y))^2 \dots\dots\dots(4.4)$$

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{MSE} \dots\dots\dots(4.5)$$

如果 MSE 值愈小，則 PSNR 值越大，且影像 A 與影像 A'間相似度愈高；反之若 MSE 值愈大，則 PSNR 值越小，且影像 A 與影像 A'間相似度愈低。PSNR 無法適用於半色調影像間之影像品質評估。因此，便有學者提出 MPSNR(Modified Peak Signal-to-Noise Ratio)[31]的方式來解決，以圖 4-9 表示。先設計一低頻濾波器(low pass filter)，將半色調影像 B 經此一低頻濾波器處理後可得影像 B'，之後應用 PSNR 來尋找影像 A 與影像 B'之影像相似的程度。

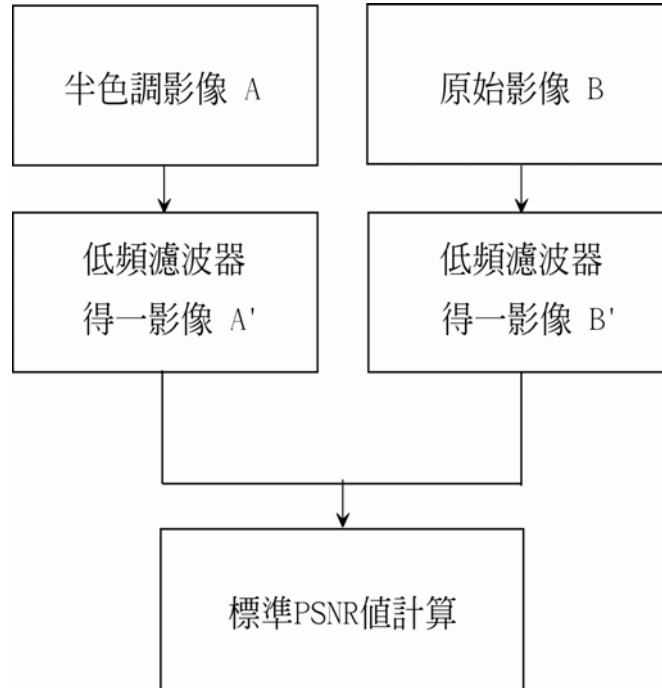


圖 4-9: MPSNR 之系統機制示意圖

在本章節中，本研究以圖 4-10 與 4-11 為樣本，在輸出列印前為例來進行實驗樣本。在圖 4-10 方面是以數位半色調影像之加密影像評估；而圖 4-11 則是將原稿數位影像與經加密過後影像做品質分析與比較，主要可以此判斷對影像的差異程度。

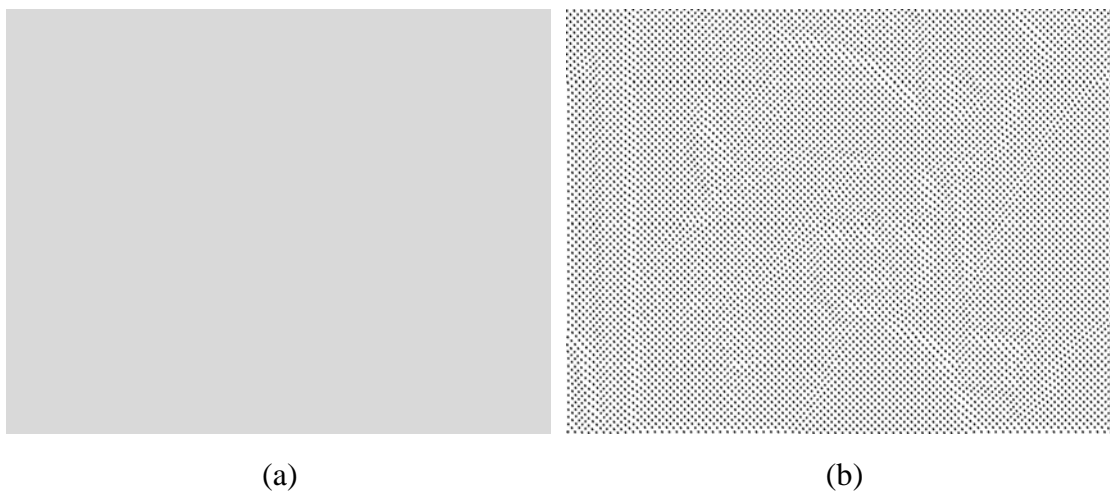
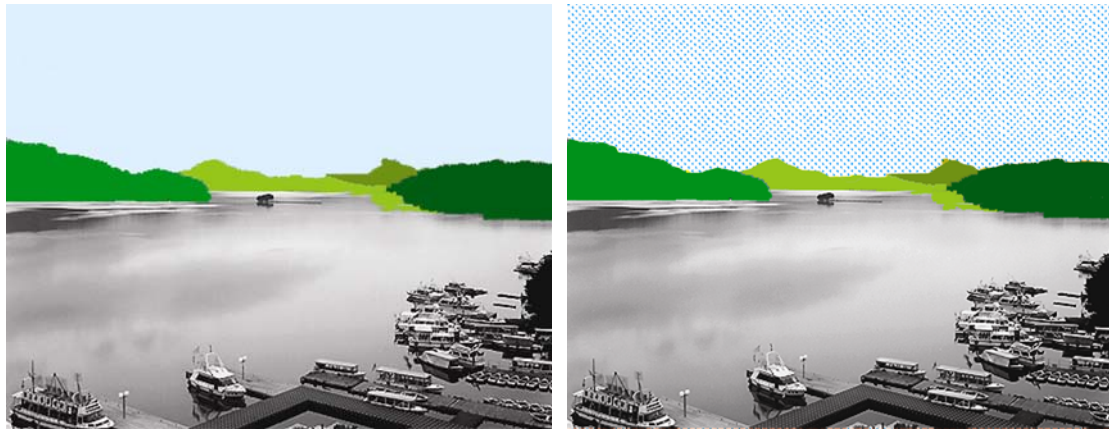


圖 4-10: 進行品質分析之原始影像及半色調影像

(a)為 15%黑度值之灰階影像，(b)為以網點偏移之加密影像



(a)

(b)

圖 4-11: 欲比較品質分析之數位影像

(a)為原稿數位影像，(b)為已加密過影像

因此，我們將原稿數位影像與已加密後影像，以公式 4.4 與 4.5 進行，在 4.4 式中可以得到影像資訊之均方差，而 4.5 式則是以 4.4 式再計算，最後對彼此影像差異之量化的數據。

首先，針對已經過網點偏移演算後的影像，與正常數位半色調後的影像做分析比較。其 MPSNR 的值為 19.96，可以發現如果只以二階半色調影像，來進行網點偏移隱藏資訊，其影像品質失去的較多，人眼也較容易察覺。

經過影像品質分析後，可以得到在青色版中做網點偏移，計算出的 PSNR 值為 29.73，顯示以網點偏移的方法進行加密，仍然會造成部份的影像資訊的流失。不過，主要也以針對人眼視線模式進行修改，其相似度的已模擬出最佳化之品質呈現。而如果在其他色版做網點偏移，我們也進而計算其 PSNR 值可得到在洋紅版為 23.16，在黃版則為 21.05，可以發現對於青版的網點偏移有相對比較好的影像品質，但在其他版網點偏移影像相似度雖較差，而判讀浮水印方面也因此受到影響。所以，對於一原稿數位影像，在進行多角度網點偏移時，應考量它在個色版的統計分佈圖(histogram)情形，如此便可將選擇最佳之色版進行處理。

表 4-1: 原始影像與半色調影像之品質分析

	MSNR	PSNR
黑色版	19.96	

表 4-2: 加密色版與原稿數位影像之品質分析

	MSNR	PSNR
青色版	29.73	44.98
洋紅色版	23.16	22.64
黃色版	21.05	18.52

由表 4-1 可以發現，若以灰階影像轉換為數位半色調影像進行網點偏移，所得到的 MPSNR 值為 19.96，使用 MPSNR 必須先經過一低頻濾波器，在本實驗中 low-pass filter 尺寸選擇為 5×5 的大小，並且是對原始影像與加密影像皆須以此方法演算過後，再做 PSNR(Peak Signal-to-Noise Ratio)值之運算。

針對表 4-2 所示，在已加密之青色版的 MPSNR 的值比洋紅色版與黃色版來得高，主要是因為以圖 4-11 為樣本，整體影像在色彩的分佈上比較呈現於青色部份區域，如圖 4-12 為詳細各色階分佈圖(histogram)。因此，在 MPSNR 方面，青色版為加密色版的影像品質分析上，相較於洋紅色版與黃色版表現上有些許提升，如果將已加密色版之平網區域與整體影像做設計搭配，便可發現 PSNR 值在青色版有顯著地與原始影像相似程度高。

因為須對於原始影像先做評估與處理，得知在何種色階有在分佈圖(0-255)中，若有在平均值(128)之上的表現，如此對此色版平網區域中進行網點不同角度之偏移，亦不致為人眼所察覺之浮水印。

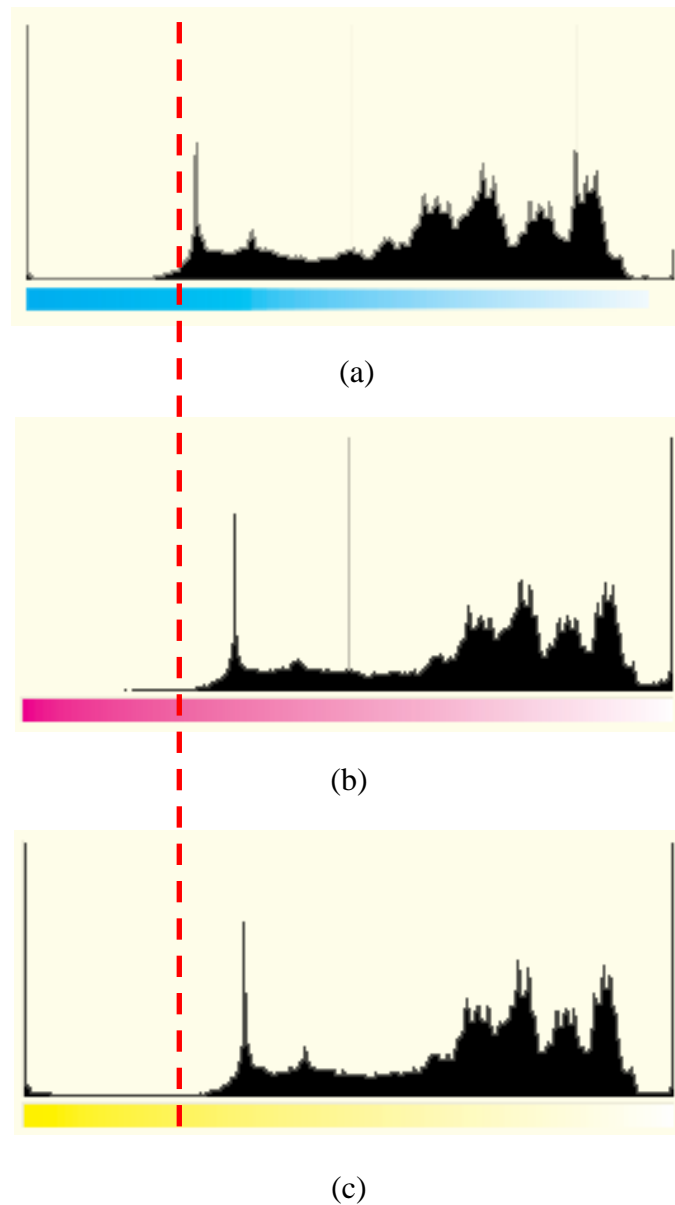


圖 4-12: 將數位影像以 C,M,Y 三色進行分析示意圖

(a)在青色版中分佈，(b)在洋紅色板中分佈，(c)在黃色版中分佈

在圖 4-12 中，本研究可以發現對於平網區域進行網點偏移的選擇，以色階分佈圖的表現上來看，此樣本在青色部份所占的比例較另兩色版高，也較為平均。因此，對於一數位影像應對何種色版進行不同角度網點偏移之加密演算，便可依據其各色版在階調上的分佈情形，進而對此色版(key plate) 加密。另在其他未加密之色版的色彩濃度與墨量控制上，需特別注意需加密色版的配合，以獲得最佳的影像輸出品質。