

第四章 實驗結果與討論



4.1 影像品質評估

本研究首先針對嵌入浮水印的半色調影像進行品質評估，透過 MSE(Mean Square Error)及 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)的計算，如公式(4-2)及(4-3)所示，更進一步了解嵌入浮水印影像與原始影像間之差異。然而原本定義之 PSNR 公式主要是針對灰階影像做影像品質的計算，因此在半色調影像的部份，本研究為了能更符合人眼觀看時的情況，加入了一低頻濾波器，先將半色調影像以鄰近 5 個像素點取平均的方式進行模糊化，如公式(4-1)所示，藉此來模擬人眼觀看半色調影像時，會對其墨點作積分的視覺特性。

$$h(i, j) = \frac{\sum h(i-2:i+2, j-2:j+2)}{25} \dots\dots\dots (4-1)$$

$$MSE = \frac{1}{N^2} \sum_y^N \sum_x^N (A'(x, y) - A(x, y))^2 \dots\dots\dots (4-2)$$

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{MSE} \dots\dots\dots (4-3)$$

根據前面 3.3 節所述，本研究所提出的浮水印嵌入方式，由於是透過自行設計的遮罩影像來對兩階浮水印影像進行相關性的運算，作為判斷是否嵌入浮水印的依據；另一方面為了避免過多的誤差累積，在浮水印嵌入前，利用 Threshold 來決定影像是否加密。由此我們可以發現，不同維度的遮罩影像及不同 Threshold 值會對加密影像及浮水印的品質有所影響。

首先我們以影像大小皆為 256×256 的 Lena 灰階影像及「師大大師」兩階影像為例(如圖 4-1(a)、(b)所示)，固定遮罩影像大小為 6×6 ，以不同的 Threshold 條件下(0.6~0.9)進行浮水印的嵌入，並將其解密後，對不同的 Threshold 與影像品質間作分析及探討，其結果如表 4-1 所示。



(a)






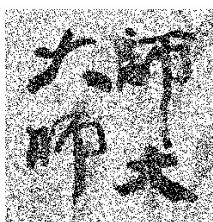



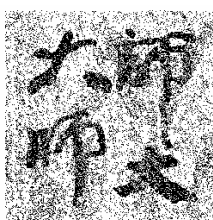


(b)

圖 4-1 品質評估使用之影像原稿

(a) Lena 灰階影像(256×256) (b)「師大大師」兩階影像(256×256)


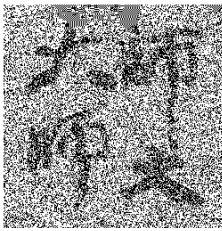

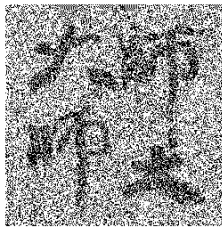
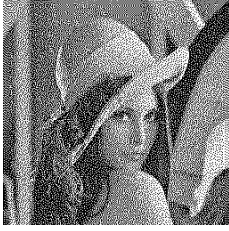
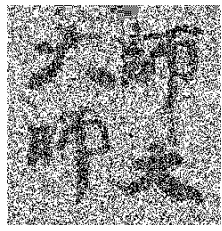

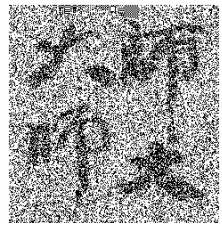
表 4-1 不同 Threshold 條件下的影像品質評估 (Mask 為 6×6)

Threshold 值	嵌入浮水印之兩階影像	解出之數位浮水印	MPSNR
0.6			23.07
0.7			22.52
0.8			21.78
0.9			20.90
1.0			19.94

由表 4-1 中我們可以發現，當所設之 Threshold 值越大，所解出之數位浮水印越清楚，但是嵌入浮水印之兩階影像品質也相對的降低，當 Threshold=1.0 時，其影像之 MPSNR 值甚至在 20db 以下。

另外，本研究亦針對不同維度的遮罩影像(4x4、6x6、8x8、10x10)，對灰階影像 Lena 加入浮水印後進行品質的評估與探討，在此我們固定 Threshold=0.6，其結果如表 4-2 所示。

表 4-2 遮罩影像於不同維度條件下的影像品質評估(T=0.6)

Mask 維度	嵌入浮水印之兩階影像	解出之數位浮水印	MPSNR
4×4			23.03
6×6			23.07
8×8			23.07
10×10			23.09

透過表 4-2 我們可以知道，遮罩影像的大小對於影像品質並沒有顯著的影響 (MPSNR 約為 23db 左右)，但是較小的遮罩影像(Mask)在進行相關性運算時所包含的值較少，因此較無彈性且亦遭破解；相對的，過大的遮罩影像則會受到雜訊破壞而使得浮水印不易解出，因此在使用上可以依需求作選擇。


綜合以上所述，可以將不同的遮罩尺寸及不同的 Threshold 值所對應的關係作整理比較，結果如表 4-3 所示，作為日後浮水印嵌入時選擇參數之依據。

表 4-3 遮罩尺寸與 Threshold 對應關係之影像品質評估 (MPSNR) 結果

MPSNR		Mask 尺寸			
		4x4	6x6	8x8	10x10
未加密的 半色調影像		23.52			
Threshold	0.6	23.03	23.07	23.07	23.09
	0.7	22.46	22.52	22.56	22.61
	0.8	21.70	21.78	21.82	21.96
	0.9	20.91	20.90	21.03	20.90
	1.0	19.94	19.94	19.95	20.03

本研究嵌入浮水印時，為了同時考慮到嵌入浮水印的半色調影像品質及還原浮水印之強健性，因此使用尺寸為 6×6 的遮罩影像搭配上 Threshold 為 0.8，進行浮水印的嵌入，而表 4-4 為不同灰階影像原稿採用此組特定參數嵌入浮水印「師大大師」後之影像品質評估及比較，可以發現以此組參數嵌入浮水印之兩階影像，其 MPSNR 值皆可以達到 20db 以上。

表 4-4 Mask 為 6×6、Threshold 為 0.8 之影像品質評估

影像名稱	Lena	Elaine	Boat
原始灰階影像 (256×256)			
嵌入「師大大師」之半色調浮水印影像 (65536 bytes)			
MSE	431.39	353.10	519.44
MPSNR	21.78	22.65	20.98

4.2 幾何轉換定位與浮水印還原

本研究將製作好之點矩陣全像檔案透過製版機進行實際輸出，經由雷射曝光成像於光阻玻璃版上，再以 Nikon D100 的數位相機搭配近攝鏡頭進行取像，由於在取像的過程中，其影像可能遭受到位移、放大縮小及旋轉等幾何轉換，因此在解密前需針對影像座標加以定位，本研究以影像的四個角點當作定位點，透過一次轉換矩陣求得其相對的關係，如公式(4-4)所示。

可以獲得四個角落座標。然而原始數位影像的四個角落座標為已知，則兩者之間的幾何轉換關係，可以下列方程式表示：

$$\begin{bmatrix} u_1 & u_2 & u_3 & u_4 \\ v_1 & v_2 & v_3 & v_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_0 & a_1 & a_2 \\ b_0 & b_1 & b_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ X_1 & X_2 & X_3 & X_4 \\ Y_1 & Y_2 & Y_3 & Y_4 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (4-4)$$

其中 (x1,y1)、(x2,y2)、(x3,y3)、(x4,y4) 為原始影像上的四個角落座標 (以 X 表示)，而 (u1,v1)、(u2,v2)、(u3,v3)、(u4,v4) 則為經角點定位後所對應的座標 (以 U 表示)，則可將公式(4-4)改寫成 U=AX，並求得轉換矩陣係數 A 如公式(4-5)所示，透過此轉換矩陣 A，可以將影像加以轉換及定位。

$$A = UX^T (XX^T)^{-1} \dots\dots\dots (4-5)$$

在這裡我們以景深效果的全像片為例，圖 4-2 為景深全像片實際輸出後翻拍的結果 (左視角度的影像) 及四個定位點 (如表 4-5 所示)。



圖 4-2 翻拍之全像影像及其定位點（左視角度）

表 4-5 角點定位座標

原始數位影像		全像片經翻拍之影像	
X_i	Y_i	u_i	v_i
1	160	276.94	521.17
160	160	489.58	516.72
160	1	484.51	302.81
1	1	273.76	309.79

經由幾何轉換定位後之影像如圖 4-3(a)所示，在透過一個臨界值(threshold)將其影像兩階化（如圖 4-3(b)所示），以便進行浮水印的還原，而還原後之浮水印影像如圖 4-4 所示。



(a)

(b)

圖 4-3 (a)經幾何轉換定位後之影像 (b) 定位影像經兩階化的結果



圖 4-4 還原之浮水印影像

4.3 含有浮水印之景深影像

根據 3.4 節的實驗，本研究將所設計含有浮水印之景深影像透過全像製版機實際輸出於光阻玻璃板上，再進行取像，由於全像片觀看角度和入射光的方向有關，因此在拍攝的過程中必需注意打光的角度，圖 4-5 為經由左右兩盞燈打光，所翻攝之全像片影像，



圖 4-5 光阻片經拍攝之全像影像（左右兩側打光）

由圖 4-5 中可以隱約看到景深的效果，代表著適合左右眼觀看之光柵點皆已被拍攝下來。為了能夠對左右兩張影像的浮水印個別進行解密，因此亦針對分別由左、右打光的影像進行拍攝，如圖 4-6(a)、(b)所示。

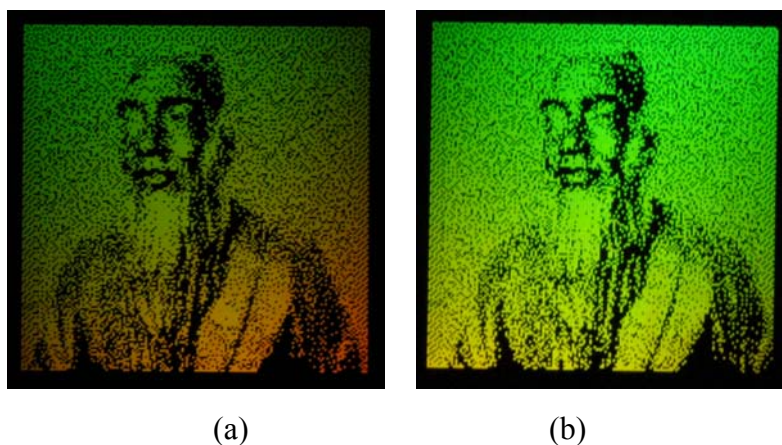


圖 4-6 光阻片經拍攝之全像影像 (a)經左側打光 (b)經右側打光

分別將圖 4-5(a)、(b)兩張影像進行幾何轉換定位（如 4-2 節所述）及浮水印解密，可以得到還原的浮水印分別如圖 4-7(a)、(b)所示。為了方便進一步比較，本實驗也針對數位浮水印的部份進行驗證，如圖 4-8(a)、(b)所示。

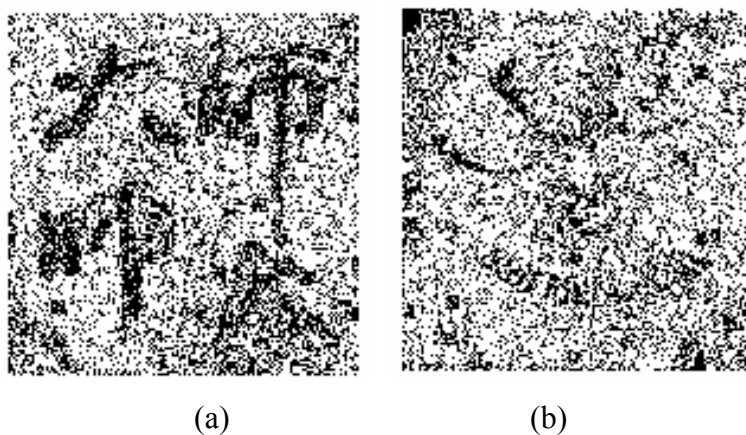


圖 4-7 實體拍攝之影像浮水印還原 (a)左眼 (b)右眼

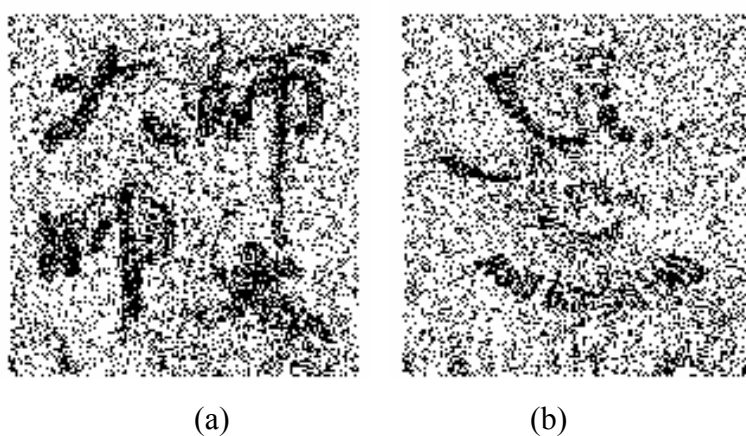


圖 4-8 數位影像浮水印還原 (a)左眼 (b)右眼

由 4-7(a)及 4-8(a)我們可以發現，實體浮水印右下角部分較數位浮水印來的模糊，這是因為右下角剛好為前景「智慧」所擺放的位置，因此在打光及拍攝的過程中，可能會使得不同視角間之影像產生互相干擾的情形(cross-talk)，進而造成浮水印資訊易受到干擾或破壞，而有模糊的情況產生。

4.4 含有浮水印之全彩立體影像

根據實驗 3.5 節，本研究同樣的將所設計之含有浮水印之全彩立體影像進行全像片的輸出，並透過相機進行取像，由於所使用的鏡頭為定焦鏡，需要有一定的拍攝距離，考慮到影像解析度的問題，輸出解析度設為 400dpi，以方便浮水印解密。在打光角度的部分，由於當初是將浮水印隱藏於正視角度的 R 版及 G 版當中，因此由影像正上方 30 度進行打光，可以得到翻拍後的影像如圖 4-9 所示。

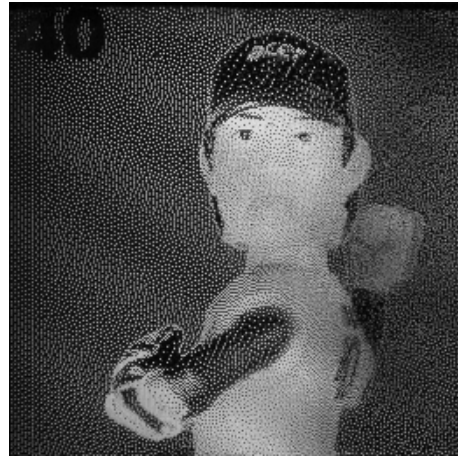


圖 4-9 光阻片經翻拍之全彩立體影像(400dpi)

接著透過 4-2 節所述的方式進行影像的幾何轉換與定位，並透過間隔取樣將原本所設計之 R 版影像及 G 版影像獨立出來，如圖 4-10(a)、(b)所示。



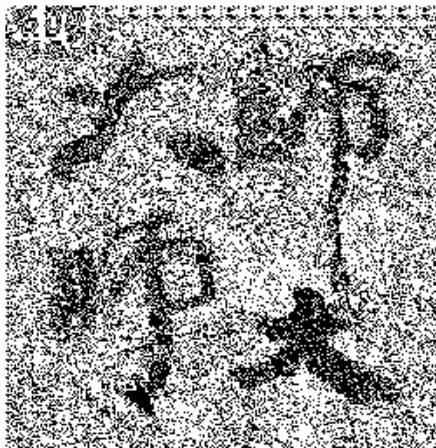
(a)



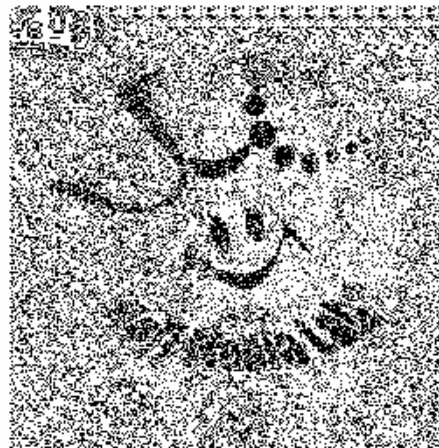
(b)

圖 4-10 (a)正視角度 R 版影像 (b)正視角度 G 版影像

將 4-10(a)、(b)影像藉由一臨界值進行兩階化後，進行浮水印的解密，結果如圖 4-11(a)、(b)所示，另外亦針對當初所設計之數位檔進行數位浮水印的解密，如圖 4-12(a)、(b)所示，以方便作進一步的比較。



(a)



(b)

圖 4-11 實際翻拍之全彩立體影像浮水印還原 (a)左眼 (b)右眼

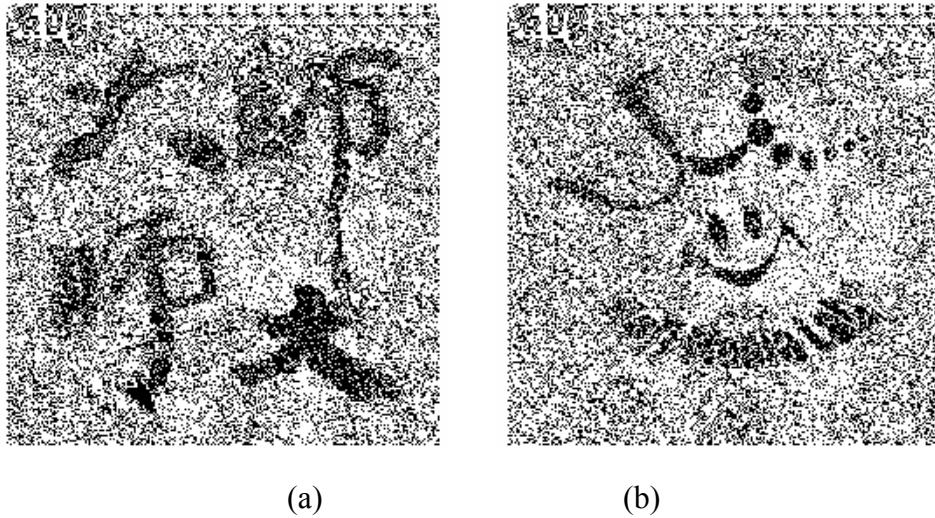


圖 4-12 數位影像浮水印還原 (a)左眼 (b)右眼

透過圖 4-11 及圖 4-12 的比較，可以發現實體浮水印與數位浮水印間並無明顯的差異，可以推論翻拍的影像由於尺寸較大(760×760,400dpi)，因此解析度也相對增加，使得像素點更加的明顯和準確；另一方面，由實驗結果我們可以發現，本研究所提出之浮水印嵌入方法由於是利用區塊(Mask)的概念進行相關性的運算，因此左上角隱藏字區域的像素值改變並不影響浮水印的解密及還原，本研究針對浮水印強健性的部分，將在下一節作更進一步的測試及探討。

另外在左上角隱藏字的部分，透過雷射光的照射，我們可以在光阻片下方看到「師大」的重建影像，如圖 4-13 所示。

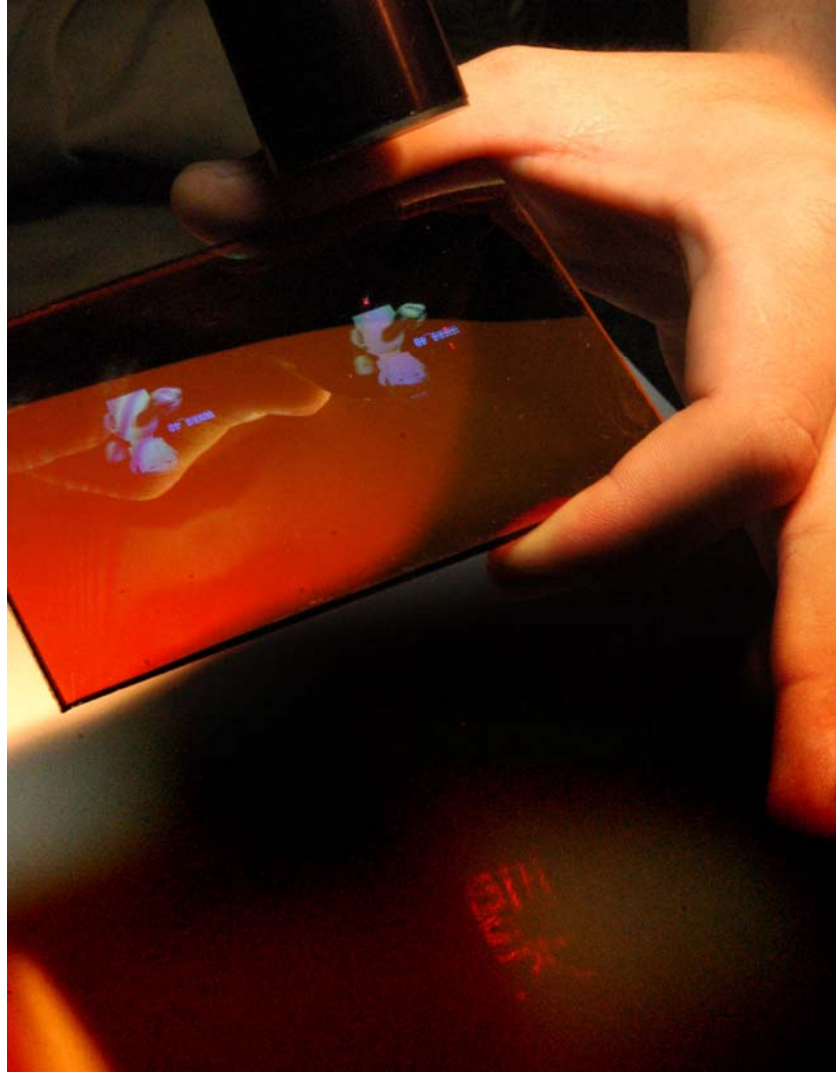


圖 4-13 隱藏字師大經由雷射光重建之結果

4.5 浮水印強健性測試

在浮水印強健性(Robustness)的部分，由於實際輸出之全像片，在一般情況下可能會遭受到刮傷、灰塵、郵戳及裁切等非惡意攻擊，因此本研究利用增加雜訊、裁切、印有郵戳及抽取行列的方式對於上述情況加以模擬，並透過浮水印還原與否來對其強健性進行測試及評估，結果如圖 4-14 至 4-17 所示。

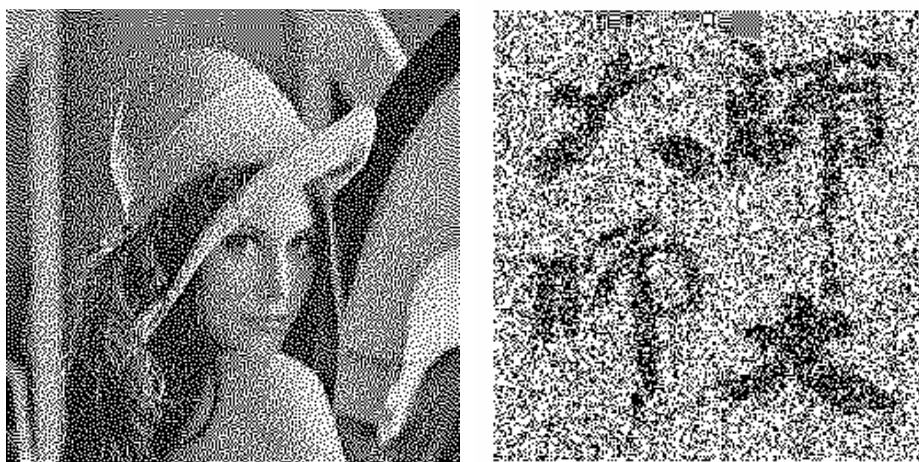


圖 4-14 增加 20%雜訊之加密影像及浮水印還原情形



圖 4-15 受到裁切之加密影像及浮水印還原情形

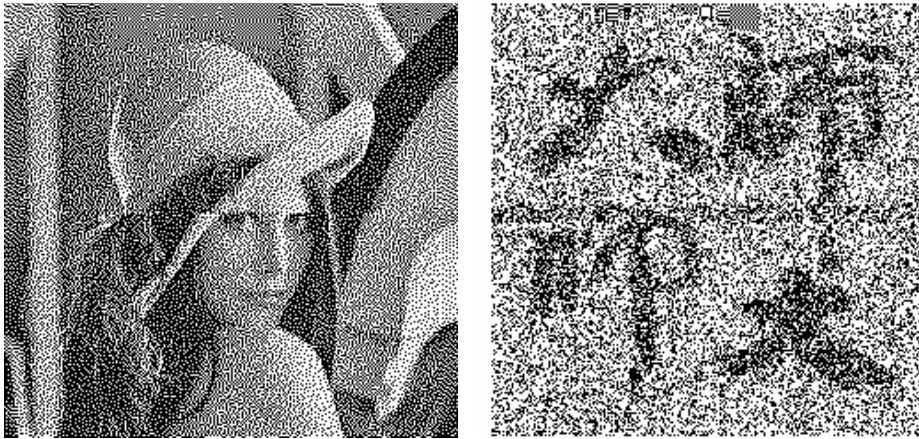


圖 4-16 抽取行列之加密影像(246x256)及浮水印還原情形

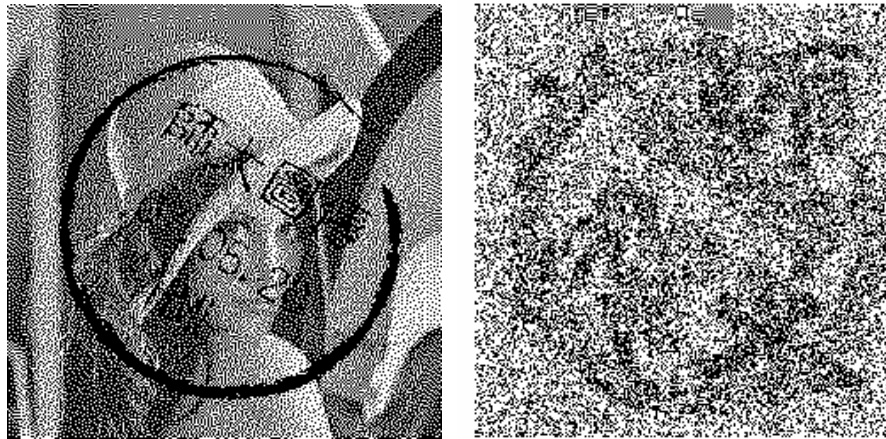


圖 4-17 蓋有郵戳之加密影像及浮水印還原情形

由以上結果顯示，本研究所提出的浮水印嵌入技術，其演算法在加解密過程時都是藉由鄰近像素之關聯性來作計算，因此不會因為某個像素作改變而影響到整體浮水印之驗證結果。以圖 4-16 為例，影像經抽取行列後，其維度由 256x256 變成 246x256，雖然其整張影像之同步性 (synchronization) 已被破壞，但是透過本研究所提出之方法，仍能針對浮水印作有效解密及還原。另外全像片應用也可能與郵票等有價證券結合，圖 4-17 為模擬全像片遭受到郵戳攻擊及所還原之浮水印。