

利用半色調技術的數位影像隱藏

Digital image hidden in an image using halftoning technique

謝景棠
淡江大學
電機工程學系教授
hsieh@ee.tku.edu.tw

林正雄
萬能科技大學
資訊管理學系教授
jslin@vnu.edu.tw

陳力銘
萬能科技大學
資訊管理學系研究生
ms0071799@hotmail.com

陳博凱
淡江大學
電機工程學系研究生
a298030a@yahoo.com.tw

摘要

本文提出一套新的影像隱藏 (Image Hiding) 技術，將欲嵌入灰階秘密影像利用錯誤擴散法 (Error Diffusion) 轉成二位元之半色調影像 (Halftone Image)，再使用 Kim 等人提出的直方圖嵌入法嵌入於原始影像中。萃取秘密影像時，將半色調資訊從偽裝影像取出，利用 LUT Inverse Halftone 演算法將半色調影像轉成灰階影像，由於 Kim 等人提出的直方圖嵌入法具可逆性，因此可將原始載體影像還原。實驗證明本文所提出的技術能嵌入高容量之灰階秘密影像，嵌入後影像仍保持非常好的品質，萃取時，除仍擁有高品質灰階秘密資訊外，也可讓原始載體影像還原。

關鍵詞：半色調、逆半色調、可逆式資訊隱藏

ABSTRACT

This study proposes a novel image hiding method based on histogram hiding and halftoning techniques. This method uses reversible data hiding to embed error diffusion halftone image into original image for secret image. In image extract process, we use reversible data hiding to extract the halftone information, and hidden image is achieved from LUT inverse halftone. Experimental result shows the performance of our method can hide digital image of high capacity, the stego-image is almost the same as the cover-image, and it can be reversible.

Keywords: Halftone, Inverse Halftoning, Reversible Data Hiding.

1.前言

資訊隱藏 (Information Hiding) 技術一般分為數位浮水印 (Digital Watermarking) 與隱藏學 (Steganography)。其中，數位浮水印 (Digital Watermarking) 主要用於身份識別與版權保護等，利用某種人眼無法察覺方式嵌入到資料中，當遭受到攻擊與破壞後依然可以偵測出來；隱藏學 (Steganography) 將機密資料以各種方式藏至掩護媒體中，利用人類視覺無法察覺到兩者之間的差異性，已達到資料保護以及傳遞之目的。

在資訊藏入的過程中，原始掩護影像可能遭受破壞，而萃取出來時也無法被正確完整還原，現實生活對於無失真還原掩護影像是有所需求的，如軍事、醫學影像與衛星觀測等，由於這些領域不能有稍微的誤差存在，因此許多學者提出可逆式資料隱藏 (Reversible Data Embedding) 技術以解決這些問題，此技術具有可逆性、無失真與高資訊隱藏量等優點。

近幾年有許多可逆式資料隱藏 (Reversible Data Embedding) 技術被提出，大致上可分兩種類型，一是差異擴張 (Difference Expansion) 法，另一種是直方圖 (Histogram) 法。差異擴張 (Difference Expansion) 法由 Tian 提出[1]，此方法是利用相鄰兩像素間的差值藏入一個機密資料。許多學者針對此方法加以改進[2-3]希望能增加嵌入量與擁有高的影像品質，但對於紋理較複雜的影像，嵌入容量會被限制住。直方圖 (Histogram) 法由 Ni 等人被提出[4]，通常分為兩個階段，第一階段：使用直方圖統計法統計影像灰階像素出現次數，找出直方圖中最多像素的點稱為「最高點」，與出現像素次數為零的點稱為「零點」。第二階段：將最高點與零點之間像素位移，位移後某些像素值空出，藉此藏入機密資料。此方法擁有非常高影像品質，且可依照嵌入量調整位移幅度，以達到高品質影像之目的。

許多學者利用資料隱藏 (Data Embedding) 技術，將灰階影像藏入灰階影像中，如 Lin、Ren[5][6] 等人使用 n 個灰階編碼法與差異擴張 (Difference Expansion) 法嵌入灰階影像，Hu[7] 使用 VQ 將欲嵌入灰階影像壓縮，再利用 LSB 嵌入原始影像中，這些技術影像品質雖有不錯水準，但能嵌入灰階影像容量有一定限制，因此本文提出一套新的影像隱藏 (Image Hiding) 技術，將欲嵌入灰階秘密影像利用錯誤擴散法 (Error Diffusion) 轉成二位元之半色調影像 (Halftoning Image)，再使用 Kim 等人[8] 提出的直方圖嵌入法嵌入於原始影像中。萃取方面，將半色調資訊從已嵌入之影像取出，利用 Look Up Table Inverse Halftoning 演算法將半色調影像轉成灰階影像，由於本文使用的直方圖嵌入法具可逆性，因此可將已嵌入影像還原。

本文第二節介紹半色調 (Halftoning) 與逆半色調 (Inverse Halftoning)，第三節介紹 Kim 等人提出的基於空間相關性與分割樣本的可逆式資料隱藏，第四節說明本研究所提出的技術，第五節為實驗結果，第六節為結論與未來發展。

2 半色調與逆半色調

2.1 Error Diffusion algorithm for Halftone

早期記憶儲存硬體相當昂貴與傳輸頻寬有限的情況下，為減少表示影像位元數而發展出數位半色調 (Digital Halftoning) 技術[9-10]。其中錯誤擴散法 (Error Diffusion) 跟以往最大差異在於非單點處理，而是經過透過 Error Filter 反饋到尚未處理之信號中，使得每一點值會依照附近已處理過的點調整，而處理方式為影像左上角開始，由左往右、由上往下，直到結束，此方法可將整張影像的能量在做完半色調處理後仍維持能量守恆。

整個 Error Diffusion 的流程如圖 2-1 與 Eq.(1-3) 所示，其中公式 $I(x,y)$ 表待輸入之影像、 H 為產生的半色調之影像、 h 是錯誤擴散法的濾波器、 $e(x,y)$ 表示量化誤差之位置、 Q 為產生半色調之函式，由於本文灰階影像是由 0~255 組成，因此取中間能量門檻值 t 為 128。

Floyd 與 Steinberg[11] 兩人的 Error Filter 如圖 2-2 所示，Javis[12] 與 Stucki[13] 的 Error Diffusion 如圖 2-3 與 2-4 所示，其中 X 表示目前所要處理的點，使用這些方法轉換後之半色調影像均擁有很高影像品質，但計算量也較高。

2.2 LUT Inverse Halftone

Mese 與 Vaidyanathan [14] 提出使用 Look Up Table 以查表方式將半色調 (Halftone) 影像轉換成灰階圖的方法，稱為 LUT Inverse Halftone 演算法，其主要想法是利用半色調鄰近周圍分布特徵，預測原灰階影像中某一點可能的像素值。

在進行 LUT 時，首先要決定鄰近周圍點的範圍，稱為作者稱為「template」，作者使用兩種不同的 template 如圖 2-5 與 2-6，其中 O 表示目前要預測之位置。在這兩種 template 預測時，所有點均納入該預測點之特徵，在圖 2-5 template 共有 16 個特徵點，而圖 2-6 共有 19 個特徵點。

假設 template 共有 N 個特徵點，令這些點為 $p_0, p_1, \dots, p_{N-1}$ ，其中 $p_i \in \{0,1\}$ for $i=0,1,\dots,N-1$ ，由於 $i=0,1,\dots,N-1$ ，因此有 2^N 種 pattern (若 pattern 為 Rect，共有 2^{16} 種)。假設 $K(p_0, p_1, \dots, p_{N-1})$ 是 pattern $(p_0, p_1, \dots, p_{N-1})$ 在半色調影像中出現次數，令表格 C 為記錄各種 pattern 之所對應灰階影像像素值： $C(p_0, p_1, \dots, p_{N-1}, i)$ ，for $i=0,1,\dots,K(p_0, p_1, \dots, p_{N-1})$ ，其中 i 表示為此種 pattern 第 i 次出現，因此表格 C 記錄各種 pattern 下，所對應灰階影像像素值，令表格為最後記錄各種 pattern 中所對應灰階影像像素值： $T(p_0, p_1, \dots, p_{N-1}) \in \{0,1,\dots,255\}$ ，因此最後將表格 C 內各種 pattern 情況下灰階像素值做平均之動作，再放入表格 T 如 Eq(4) 所示。還原半色調影像時，利用半色調鄰近周圍分布特徵，以查 T 表的方式即可將影像轉換成灰階圖。

$$H(x,y) = Q(I'(x,y)) = \begin{cases} 255, & \text{if } I'(x,y) > t \\ 0, & \text{if } I'(x,y) \leq t \end{cases} \quad (1)$$

$$I'(x,y) = I(x,y) + h(k,l)e(x+k,y+l) \quad (2)$$

$$e(x,y) = I'(x,y) - Q(I'(x,y)) \quad (3)$$

$$T(p_0, p_1, \dots, p_{N-1}) = \frac{\sum_{i=0}^{K(p_0, p_1, \dots, p_{N-1})-1} C(p_0, p_1, \dots, p_{N-1}, i)}{K(p_0, p_1, \dots, p_{N-1})} \quad (4)$$

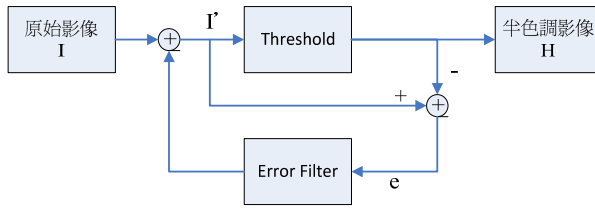


圖 2-1 Error Diffusion 流程圖

	X	7/16
3/16	5/16	1/16

圖 2-2 Floyd-Steinberg error filter

		X	7/48	5/48
3/48	5/48	7/48	5/48	3/48
1/48	3/48	5/48	3/48	1/48

圖 2-3 Javis error filter

		X	8/42	4/42
2/42	4/42	8/42	4/42	2/42
1/42	2/42	4/42	2/42	1/42

圖 2-4 Stucki error filter

a	a	a	a
a	a	a	a
a	a	O	a
a	a	a	a

圖 2-5 "Rect" template

b	a	a	a	b
a	a	a	a	b
a	a	O	a	a
	a	a	a	
		a		

圖 2-6 "19-pels" template

3.基於空間相關性與分割樣本的可逆式資料隱藏(Reversible data hiding exploiting spatial correlation between sub-sampled images on block)

2009 年由 Kim 等人提出高容量可逆式資料隱藏法[8]，利用影像相鄰像素的高相關聯性，以

達到高嵌入量與低失真影像的效果，且具有可逆性。以下將 Kim 等人提出的方法做更詳細說明。

3.1 嵌入方法

將原始影像 subsample 成四塊大小相同影像 S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 ，找出參考影像 S_{Ref} ，其餘的 S 相對位置分別與 S_{Ref} 參考影像相減，得到三張範圍在-255~255 間的差值影像 d_2 、 d_3 、 d_4 ，將 d_2 、 d_3 、 d_4 向左向右做位移，假設嵌入等級 $EL=2$ ，可嵌入浮水印的 EL 為 2、1、0，將 d'_2 、 d'_3 、 d'_4 由 Eq(5-6) 嵌入浮水印。

嵌入浮印後的差值影像 d''_2 、 d''_3 、 d''_4 ，分別加回參考影像 S_{Ref} 成 S'_2 、 S'_3 、 S'_4 ，最後 S_{Ref} 、 S'_2 、 S'_3 、 S'_4 做 resubsample 成 I' 。

3.2 浮水印萃取

將 I' 經 subsample 成分割成四塊大小 S''_1 、 S''_2 、 S''_3 、 S''_4 ，從 S''_1 、 S''_2 、 S''_3 、 S''_4 四塊影像當中找參考影像 S''_{Ref} ，其餘的 S 相對位置分別與 S_{Ref} 參考影像相減，假設嵌入等級 $EL=2$ ，因此可嵌入浮水印 EL 為 2、1、0，由 Eq(7) 即可取出浮水印。

3.3 還原嵌入影像

由 Eq(8-9) 將 d''_2 、 d''_3 、 d''_4 進行還原， d''_2 、 d''_3 、 d''_4 由 Eq(10) 做反位移， d''_2 、 d''_3 、 d''_4 分別與 S''_{Ref} 相加，最後將 s''_1 、 s''_2 、 s''_3 、 s''_4 做 resubsample 成原來影像。

for $EL > 0$

$$d''_k(i, j) = \begin{cases} d'_k(i, j) + EL + w & \text{if } d'_k(i, j) = EL \\ d'_k(i, j) - EL - w & \text{if } d'_k(i, j) = -EL \end{cases} \quad (5)$$

for $EL = 0$

$$d''_k(i, j) = d'_k(i, j) + w \quad (6)$$

for $EL' > 0$

$$w'(n) = \begin{cases} 0, & \text{if } d''_k(i, j) = 2EL' \text{ or } -2EL' \\ 1, & \text{if } d''_k(i, j) = 2EL' + 1 \text{ or } -2EL' - 1 \end{cases} \quad (7)$$

For $EL' = 0$

$$d'''_k(i, j) = \begin{cases} d''_k(i, j) - 1 & \text{if } d''_k(i, j) = 1 \\ d''_k(i, j) & \text{if } d''_k(i, j) = 0 \end{cases} \quad (8)$$

For $EL' > 0$

$$d_k'''(i,j) = \begin{cases} d_k''(i,j) - EL' - 1, & \text{if } d_k''(i,j) = 2EL' + 1 \\ d_k''(i,j) - EL' & , \text{if } d_k''(i,j) = 2EL' \\ d_k''(i,j) - EL' + 1, & \text{if } d_k''(i,j) = -2EL' - 1 \\ d_k''(i,j) - EL' & , \text{if } d_k''(i,j) = -2EL' \end{cases} \quad (9)$$

$$d_k''''(i,j) = \begin{cases} d_k'''(i,j) - EL' - 1, & \text{if } d_k'''(i,j) \geq 2EL' + 2 \\ d_k'''(i,j) + EL' + 1, & \text{if } d_k'''(i,j) \leq -2EL' - 2 \\ d_k'''(i,j) & , \text{otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

4. 所提出的技術

4.1 灰階影像嵌入演算法

本研究嵌入方法使用 Kim 等人提出高容量可逆式資料隱藏法[8]，假設 $f(x,y)$ 為 $M \times N$ 之灰階影像， $W(i,j)$ 為欲隱藏之灰階影像。

步驟 1：首先將完整的影像由 Eq(11) 做 subsampling，其中 Δu 、 Δv 為 sub-sampling 的長與寬個數，如圖 4-1、4-2。

$$\begin{cases} s_1(i,j) = f(\Delta u \times i - 1, \Delta v \times j - 1) \\ s_2(i,j) = f(\Delta u \times i - 1, \Delta v \times j) \\ s_3(i,j) = f(\Delta u \times i, \Delta v \times j - 1) \\ s_4(i,j) = f(\Delta u \times i, \Delta v \times j) \end{cases} \quad (11)$$

步驟 2：由 Eq(12) 將 S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 中找出參考影像 S （若 $\Delta u = \Delta v = 2$ ，則 $S = S_1$ ）。

$$S = \left(\text{Round}\left(\frac{\Delta u}{2} - 1\right) \right) \times \Delta u + \text{Round}\left(\frac{\Delta v}{2}\right) \quad (12)$$

步驟 3：將 S_2 、 S_3 、 S_4 相對位置分別與 S_1 參考影像相減，得到三張差值影像 d_2 、 d_3 、 d_4 ，其中 d_2 、 d_3 、 d_4 影像中像素值範圍在 $[-255, \dots, 255]$ ，如 Eq(13)、圖 4-3。

$$\begin{cases} d_2(i,j) = s_2(i,j) - s_1(i,j) \\ d_3(i,j) = s_3(i,j) - s_1(i,j) \\ d_4(i,j) = s_4(i,j) - s_1(i,j) \end{cases} \quad (13)$$

步驟 4：將 d_2 、 d_3 、 d_4 由 Eq(14) 做位移，其中 EL 為嵌入等級，如圖 4-4。

$$d_k'(i,j) = \begin{cases} d_k(i,j) + (EL + 1), & \text{if } d_k(i,j) > EL \\ d_k(i,j) - (EL + 1), & \text{if } d_k(i,j) < -EL \\ d_k(i,j) & , \text{otherwise} \end{cases} \quad (14)$$

步驟 5：將灰階秘密影像 W ，由錯誤擴散法（Error diffusion）[11]，將灰階秘密影像轉換為二位元半色調影像 W' 。

步驟 6：將 d_2 、 d_3 、 d_4 由 Eq(15) 將 W' 嵌入於影像中，如圖 4-5、4-6。

for $EL > 0$

$$d_k''(i,j) = \begin{cases} d_k'(i,j) + EL + w', & \text{if } d_k'(i,j) = EL \\ d_k'(i,j) - EL - w', & \text{if } d_k'(i,j) = -EL \end{cases} \quad (15)$$

步驟 7： $EL = 0$ 時，由 Eq(16) 嵌入半色調資訊，如圖 4-7。

for $EL = 0$

$$d_k''(i,j) = d_k'(i,j) + w \quad (16)$$

步驟 8：將 d_2'' 、 d_3'' 、 d_4'' 分別由 Eq(17) 將參考影像能量加回。

$$\begin{cases} s_2'(i,j) = s_1(i,j) + d_2''(i,j) \\ s_3'(i,j) = s_1(i,j) + d_3''(i,j) \\ s_4'(i,j) = s_1(i,j) + d_4''(i,j) \end{cases} \quad (17)$$

步驟 9：由 Eq(18)，將 s_1 、 s_2' 、 s_3' 、 s_4' 做 resubsample 成 I' 。

$$\begin{aligned} I'(2i - 1, 2j - 1) &= S_1(i,j) \\ I'(2i - 1, 2j) &= S_2'(i,j) \\ I'(2i, 2j - 1) &= S_3'(i,j) \\ I'(2i, 2j) &= S_4'(i,j) \end{aligned} \quad (18)$$

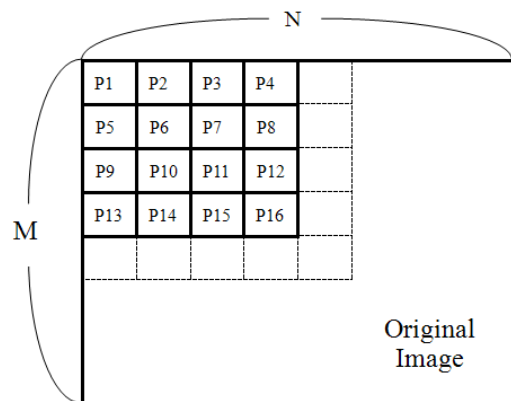


圖 4-1 原始影像

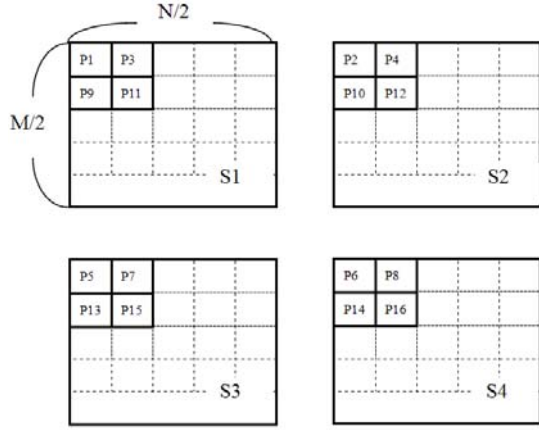


圖 4-2 sub-sampling 2x2 ($\Delta u = \Delta v = 2$)

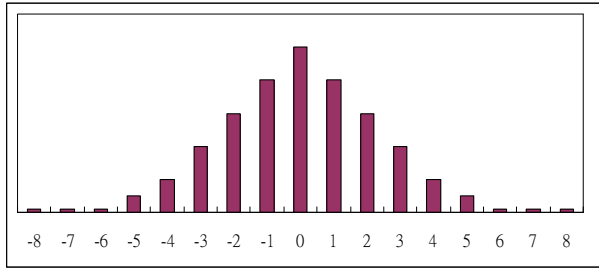


圖 4-3 原始差值直方圖

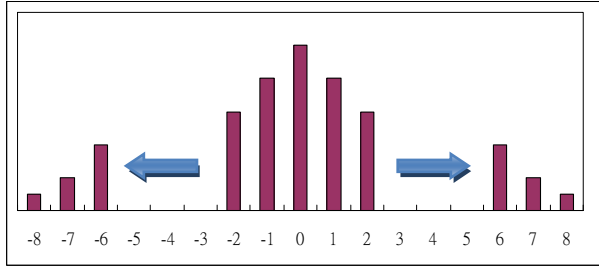


圖 4-4 直方圖位移(EL=2)

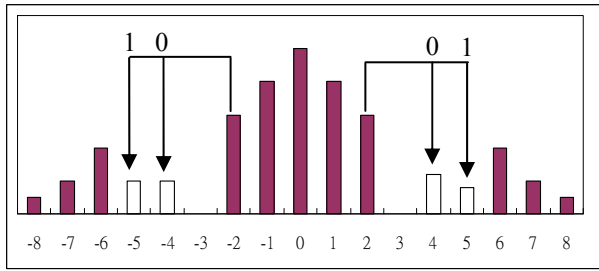


圖 4-5 嵌入半色調資訊(EL=2)

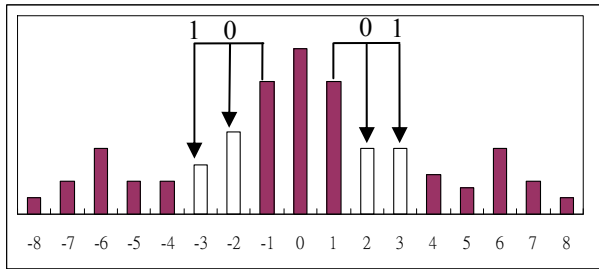


圖 4-6 嵌入半色調資訊(EL=1)

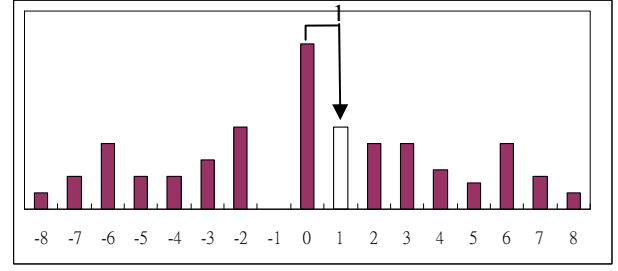


圖 4-7 嵌入半色調資訊(EL=0)

4.2 灰階影像抽取演算法:

步驟 1：假設 I' 為已嵌入之影像，將 I' 由經 Eq(19) subsample 成 S_1'' 、 S_2'' 、 S_3'' 、 S_4'' 。

$$\begin{aligned} S_1''(i, j) &= I'(2i - 1, 2j - 1) \\ S_2''(i, j) &= I'(2i - 1, 2j) \\ S_3''(i, j) &= I'(2i, 2j - 1) \\ S_4''(i, j) &= I'(2i, 2j) \end{aligned} \quad (19)$$

步驟 2：由 Eq(20) 將 S_1'' 、 S_2'' 、 S_3'' 、 S_4'' 中找出參考影像 S (若 $\Delta u = \Delta v = 2$ ，則 $S = S_1$)。

$$S = \left(\text{Round} \left(\frac{\Delta u}{2} - 1 \right) \right) \times \Delta u + \text{Round} \left(\frac{\Delta v}{2} \right) \quad (20)$$

步驟 3：將 S_2'' 、 S_3'' 、 S_4'' 相對位置分別與 S_1 參考影像相減，得到三張差值影像 d_2'' 、 d_3'' 、 d_4'' ，其中 d_2'' 、 d_3'' 、 d_4'' 影像中像素值範圍在 $[-255, \dots, 255]$ ，如 Eq(21)。

$$\begin{cases} d_2''(i, j) = S_2''(i, j) - S_1''(i, j) \\ d_3''(i, j) = S_3''(i, j) - S_1''(i, j) \\ d_4''(i, j) = S_4''(i, j) - S_1''(i, j) \end{cases} \quad (21)$$

步驟 4：由 Eq(22) 取出已嵌入之半色調影像 W' 。

$$w'(n) = \begin{cases} 0, & \text{if } d_k''(i, j) = 2EL' \text{ or } -2EL' \\ 1, & \text{if } d_k''(i, j) = 2EL' + 1 \text{ or } -2EL' - 1 \end{cases} \quad (22)$$

步驟 5：將半色調影像 W' 做 LUT Inverse Halftoning[14]，即取出秘密灰階影像 W'' 。

4.3 影像還原演算法:

步驟 1：由 Eq(23)(24) 將 d_2'' 、 d_3'' 、 d_4'' 還原，如圖(4-8~4-10)。

for $EL' = 0$

$$d_k'''(i, j) = \begin{cases} EL' & , \quad \text{if } d_k''(i, j) = 1 \\ d_k''(i, j) & , \quad \text{if } d_k''(i, j) = 0 \end{cases} \quad (23)$$

For $EL' > 0$

$$d_k'''(i, j) = \begin{cases} EL' & , \text{if } d_k''(i, j) = 2EL' + 1 \\ EL' & , \text{if } d_k''(i, j) = 2EL' \\ -EL' & , \text{if } d_k''(i, j) = -2EL' - 1 \\ -EL' & , \text{if } d_k''(i, j) = -2EL' \end{cases} \quad (24)$$

步驟 2：將 d_2'' 、 d_3'' 、 d_4'' 由 Eq(25)做反位移，如圖 4-11。

$$d_k'''(i,j) = \begin{cases} d_k''(i,j) - EL' - 1, & \text{if } d_k''(i,j) \geq 2EL' + 2 \\ d_k''(i,j) + EL' + 1, & \text{if } d_k''(i,j) \leq -2EL' - 2 \\ d_k''(i,j), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (25)$$

步驟 3： d_2''' 、 d_3''' 、 d_4''' 分別與 S_1 由 Eq(26)將參考影像能量加回。

$$\begin{cases} S_2'''(i,j) = S_1''(i,j) + d_2'''(i,j) \\ S_3'''(i,j) = S_1''(i,j) + d_3'''(i,j) \\ S_4'''(i,j) = S_1''(i,j) + d_4'''(i,j) \end{cases} \quad (26)$$

步驟 4：將 S_1' 、 S_2''' 、 S_3''' 、 S_4''' 由 Eq(27)resubsample 還原成原來影像 I'' 。

$$\begin{aligned} I''(2i-1, 2j-1) &= S_1'(i,j) \\ I''(2i-1, 2j) &= S_2'''(i,j) \\ I''(2i, 2j-1) &= S_3'''(i,j) \\ I''(2i, 2j) &= S_4'''(i,j) \end{aligned} \quad (27)$$

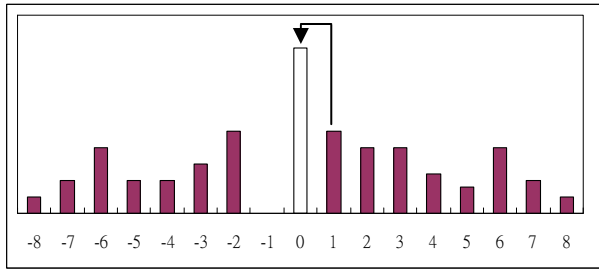


圖 4-8 還原已嵌入影像(EL=0)

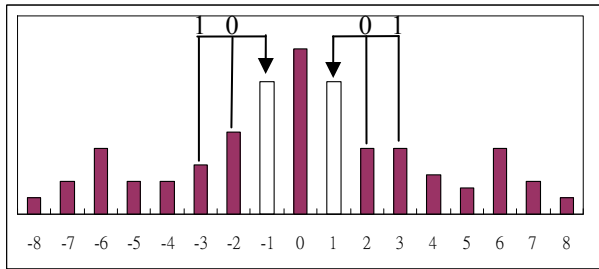


圖 4-9 還原已嵌入影像(EL=1)

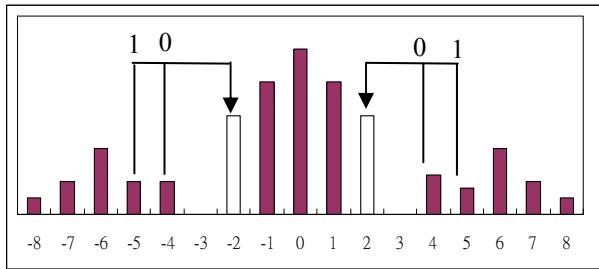


圖 4-10 還原已嵌入影像(EL=2)

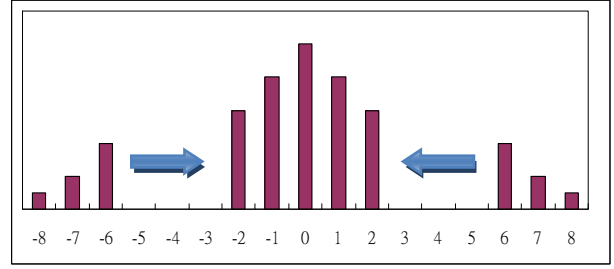


圖 4-11 反位移差值影像

5. 實驗結果

5.1 評估標準

5.1.1 影像信號雜訊比(Peak Signal to Noise Ratio, PSNR)

在影像處理中，影像信號雜訊比(Peak Signal to Noise Ratio, PSNR)用來衡量影像失真的程度，兩張數位影像經影像信號雜訊比計算，越相似結果值越大，即經過處理之影像品質越佳，如 Eq(28)，其中 $h(x,y)$ 表示輸入之影像， $g(x,y)$ 表示經過處理後所得的影像，此處影像的大小為 $M \times N$ ，其中 $I_{\max}$ 是影像所容許的最大值，如對一個 8 位元灰階影像則 $I_{\max}=255$ 。

$$\text{PSNR}(\text{db}) = 10 \log_{10} \frac{I_{\max}^2}{\frac{1}{M \times N} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} [g(x,y) - h(x,y)]^2} \quad (28)$$

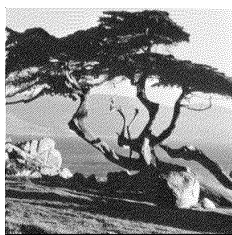
5.2 實驗結果

本實驗以 Lena、F16、Wood、Boat、Baboo 與 Pepper，大小為 512x512 灰階影像作為原始影像，以 Lena、F16、Wood、Boat、Baboo 與 Pepper 大小為 256x256 灰階影像作為嵌入之秘密影像，以 PSNR 作為衡量影像失真的程度。

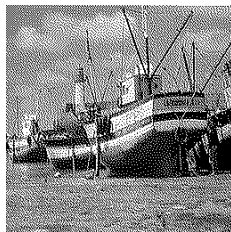
圖 5-1 為將灰階秘密影像半色調處理後之影像。圖 5-2 為萃取後之灰階秘密影像，可以發現萃取出的灰階影像 PSNR 均可達到 30dB 左右水準。表 5-1 為在嵌入等級 EL=1、2、3 時，嵌入 256x256 灰階秘密影像後的 PSNR 狀況，表 5-2、5-3、圖 5-4、5-5 為在嵌入等級 EL=0、1、2、3 時，不同的原始影像能嵌入容量與 PSNR 之變化。由這些統計可以發現嵌入等級越高，可以嵌入的量越大，影像品質越低，而原始影像越平滑、邊緣越少，影像品質越高，PSNR 均可達到 40dB 以上。



(a) F16(256x256)



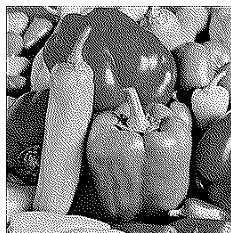
(b) Wood(256x256)



(c) Boat (256x256)



(d) Goldhill (256x256)



(e) Pepper(256x256)



(f) Lena(256x256)

圖 5-1 半色調之秘密影像

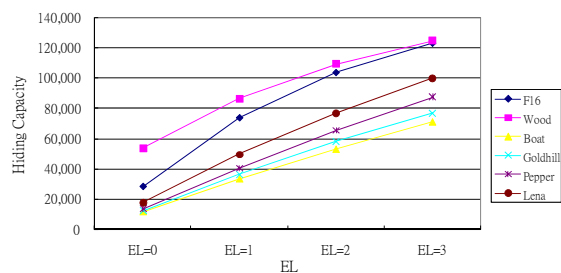


圖 5-3 嵌入等級與嵌入容量的關係圖

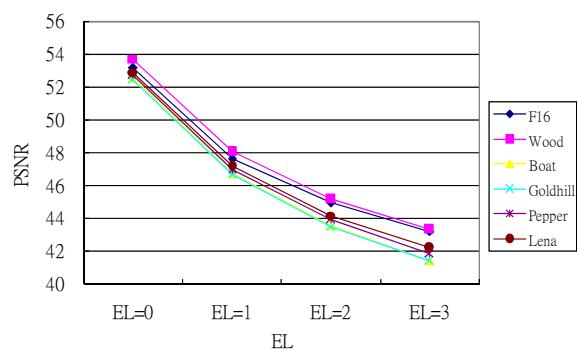


圖 5-4 嵌入等級與 PSNR 之關係圖

表 5-1 在 EL=1、2、3 時，

嵌入灰階秘密影像 psnr 狀況

	EL=1		EL=2		EL=3	
	Hiding Capacity	PSNR	Hiding Capacity	PSNR	Hiding Capacity	PSNR
Lena	X	X	65536	44.167	65536	42.278
F16	65536	47.615	65536	44.934	65536	43.213
Wood	65536	48.095	65536	45.217	65536	43.354
Boat	X	X	X	X	65536	41.409
Goldhill	X	X	X	X	65536	41.388
Pepper	X	X	X	X	65536	41.886

表 5-2 在 EL=0、1 時，嵌入容量與 psnr 之變化

	EL=0		EL=1	
	Hiding Capacity	PSNR	Hiding Capacity	PSNR
Lena	18028	52.893	50198	47.174
F16	28159	53.170	73710	47.616
Wood	53707	53.711	86495	48.062
Boat	11604	52.581	33337	46.740
Goldhill	12343	52.464	36342	46.643
Pepper	13648	52.750	40390	46.964



(a) F16(256x256)
PSNR=29.163



(b) Wood(256x256)
PSNR=31.624



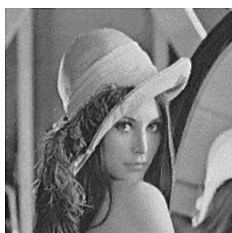
(c) Boat (256x256)
PSNR=28.826



(d) Goldhill (256x256)
PSNR=29.399



(e) Pepper(256x256)
PSNR=29.777



(f) Lena(256x256)
PSNR =30.0326

圖 5-2 萃取後之灰階秘密影像

表 5-3 在 EL=2、3 時，嵌入容量與 psnr 之變化

	EL=2		EL=3	
	Hiding Capacity	PSNR	Hiding Capacity	PSNR
Lena	78055	44.194	100774	42.314
F16	103669	44.931	123167	43.215
Wood	109236	45.179	124643	43.310
Boat	52924	43.552	70985	41.407
Goldhill	58003	43.496	76778	41.386
Pepper	65293	43.886	87402	41.887

6. 結論與未來發展

本文成功將直方圖嵌入法與逆半色調技術結合，提出一套新的數位影像隱藏 (Image Hiding) 技術。實驗證明，所提出之方法不但能嵌入高容量之灰階秘密影像，嵌入後影像仍可保持高品質效果，萃取出灰階影像也擁有不錯辨識度，而且可讓已嵌入影像還原，相信應用在醫學上會有很大幫助，但在強健性方面，目前本研究是無法抵抗合法壓縮 (JPEG)，因此將來希望能夠朝著這方面研究與探討。

參考文獻

- [1] J.Tian, Reversible data embedding using a difference expansion, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology 13 (8) (2003) 890– 896.
- [2] A.M. Alattar, Reversible watermark using difference expansion of triplets, in: Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing, vol. 1, Barcelona, Spain, September 2003, pp. 501–504.
- [3] A.M. Alattar, Reversible watermark using the difference expansion of a generalized integer transform, IEEE Transactions on Image Processing 13 (8) (2004) 1147–1156.
- [4] Z. Ni, Y.Q. Shi, N. Ansari, W. Su, Reversible data hiding, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology 16 (3) (2006) 354–362.
- [5] Kuang Tsan Lin, “Digital image hidden in an image using n-graylevel encoding”, The 1st international conference on information science and engineering, 2009.
- [6] Hong Ren, Chunwu Chang and Jian Zhang, “Reversible image hiding algorithm based on pixels difference”, Department of information and computer engineering university of northeast forestry, 2009.
- [7] Yu Chen Hu, “Grey-level image hiding scheme based on vector quantisation”, Electronics letters, vol.39 no.2, pp.202-203.
- [8] K.S. Kim, M.J. Lee, H.Y. Lee, H.K. Lee, Reversible data hiding exploiting spatial correlation between sub-sampled images, Pattern Recognition 42 (11) 489 (2009) 3083–3096.
- [9] R. Ulichney, “Digital Halftoning,” The MIT Press, 1987.
- [10] H. R. Kang, "Digital Color Halftoning," SPIE Optical Engineering Press, 1999.
- [11] R.W. Floyd, and L. Steinberg, “Adaptive algorithm for spatial grey scale,” SID Int. Sym. Digest of Tech. Papers, pp. 36-37.
- [12] J.F. Jarvis, C.N. Judice, and W.H. Ninke, “A survey of techniques for the display of continuous-tone pictures on bilevel displays,” Computer Graphics and Image Processing, vol.5, pp.13-40, 1976.
- [13] P. Stucki, “MECCA – a multiple error correcting computation algorithm for bilevel image hardcopy reproduction,” Research Report RZ1060, IBM Research Laboratory, 1981.
- [14] M. Mese and P.P. Vaidyanathan, "Look Up Table (LUT) inverse halftoning," Proc. of IEEE ISCAS, Geneva, June 2000.
- [15] Jung K., Chang J. and Lee C. (1994), “Error concealment technique using projection data for block-based image coding”, Proceedings of Visual Communications and Image Processing, vol. 2308, pp. 1466-1476.
- [16] Wang Z., Yu Y. and Zhang D. (1998), “ Best Neighborhood Matching : An information Loss Restoration Technique for block-based Image Coding System”, Transactions on Image Processing, vol. 7,no. 7,pp.1056-1061.
- [17] Zeng W. and Liu B.(1999), “Geometric-structure-Based Error Concealment with Novel Applications in Block-Based Low-Bit-Rate Coding,” IEEE Transactions on Circuits and System for Video Technology, vol. 9,No 4,pp.648-665.
- [18] M. Unser, A. Aldroubi, and M. Eden, “ Polynomial Spline Signal Approximations:Filter Design and Asymptotic Equivalence with Shannon’ s Sampling Theorem, ” IEEE Trans. Information Theory, vol.38, no. 1, pp. 99-103, January 1992.
- [19] Hao Luo, Fa-Xin Yu , Hua Chen, Zheng-Liang Huang, Hui Li and Ping-Hui Wang, “Reversible data hiding based on

block median preservation”, Contents lists available at ScienceDirect, No. of Pages 21, Model 3G, October 2010.

- [20] T. K. Shih and R. C. Chang, “Digital inpainting—Survey and multilayer image inpainting algorithms,” in Proc. IEEE Int. Conf. Inform. Tech. Appl., 2005, vol. 1, pp. 15–24.