

DT  
312.9  
3422  
100  
225359

國立勤益科技大學  
資訊工程系碩士班

碩士論文

半色調影像資料隱匿  
Data Steganography for Halftone Image



研究生：洪位億

指導教授：林基源 博士

中華民國 一 百 年 七 月

國立勤益科技大學圖書館




225359

半色調影像資料藏匿

Data Steganography for Halftone Image

研究生：洪位億  
指導教授：林基源 博士



國立勤益科技大學  
資訊工程系研究所  
碩士論文

Submitted in partial fulfillment of the requirements  
For the degree of  
Master of Engineering  
In  
Institute of Computer Science and Information Engineering  
from the National Chin-Yi Institute of Technology

July 2011  
Taiping, Taichung, Taiwan, Republic of China

中華民國九十八年七月



# 國立勤益科技大學

## 博碩士論文全文上網授權書

(提供授權人裝訂於紙本論文書名頁之次頁用)

本授權書所授權之論文為授權人在國立勤益科技大學  
資訊工程系\_\_\_\_\_組 99 學年度第 2 學期取得碩士學位之  
論文。

論文題目：半色調影像資料隱匿  
指導教授：林基源

### ■ 同意

本人具有著作權之論文全文資料，非專屬、無償授予本人畢業學校圖書館，不限地域、時間與次數，以微縮、光碟或數位化等各種方式重製與利用，提供讀者基於著作權法合理使用範圍內之線上檢索、閱覽、下載及列印。

論文全文上載網路公開之範圍及時間：

校內區域網路	■ 中華民國 101 年 9 月 13 日公開
校外網際網路	■ 中華民國 105 年 9 月 13 日公開

授權人：洪位億

簽名： 洪位億

中 華 民 國 100 年 9 月 14 日

國立勤益科技大學  
研究所碩士班  
論文口試委員會審定書

本校 資訊工程系 碩士班 洪位億 君

所提論文 半色調影像資料隱匿性

合於碩士資格水準，業經本委員會評審認可。

論文口試委員會：

召集人： 王周訂

委員： \_\_\_\_\_

楊勝智

吳俊霖

指導教授： 林基源

所長： 王洲木

中華民國 一 百 年 六 月

# 半色調影像資料藏匿

學生：洪位億

指導教授：林基源 博士

國立勤益科技大學資訊工程研究所碩士班

## 摘 要

本論文提出兩種對於半色調影像不同藏匿方式，一種是 DHSPT (Data Hiding by Smart Pair Toggling) 藏匿技術結合線性區塊碼之改進方式；另一種則是對半色調影像特性結合線性區塊碼之高容量藏匿方式。在本論文中，利用線性區塊碼改進 DHSPT 藏匿資料時所需要修改的資料數，藉此降低其影像失真度。另一方面針對半色調影像特性提出結合線性區塊碼之高容量藏匿方式。由實驗結果證明使用  $(n, k)$  線性區塊碼在相同藏匿位元數量下可改進 DHSPT 藏匿後之影像品質，也可以在半色調影像上每個長度為  $n$  位元之區塊可藏入  $n - k$  個位元。

# Data Steganography for Halftone Image

Student : Wei-Yi Hung

Advisors : Dr. Chi-Yuan Lin

Computer Science and Information Engineering  
National Chin-Yi Institute of Technology

## ABSTRACT

In this paper, we propose some data hiding method for halftone image. For the situation in which only the halftone image is available, we propose application of linear block embedded code (LBEC) to hide data by random location within a halftone image. The complementary and reduce the pixels are chosen to minimize the chance of forming visually modified. Our experimental results suggest that LBEC combined data hiding smart pair toggling (DHSPT) can maintaining good visual quality, and pair LBEC can hide a large amount of hidden data. The LBEC expect to hide  $n-k$  bit within a block.

## 誌謝

匆匆兩年，在勤益讀研究所的日子，內心真的感到非常五味雜陳。從九十八年八月搬到台中後，從開始找老師，到進實驗室後不停的 Meeting，到第一次寫出中文研討會文章，到最後的英文研討會、口試、論文修改。仔細回想，原來度過了這麼多日子，真的謝謝林基源老師與王俊傑老師這段期間的教導，這段時間除了教導學識的部分，也不斷提醒與告誡我們做人做事的態度，真的非常感謝。

對於實驗室來說，我從一開始的不適應，到最後跟大家相處還不錯，感覺到大家對我的包容，謝謝。謝謝為明、俊賢、兆恩、晏羽、子葳、婷雅、宜芳、藍琳、書慶、柏宏學長、俊佑學長這些實驗室夥伴的幫忙跟照顧，也謝謝鍾翰、盈名、筱吟、恆緯、冠妤、筱芳、哲純、郁升你們這些同班同學的打氣，謝謝你們。

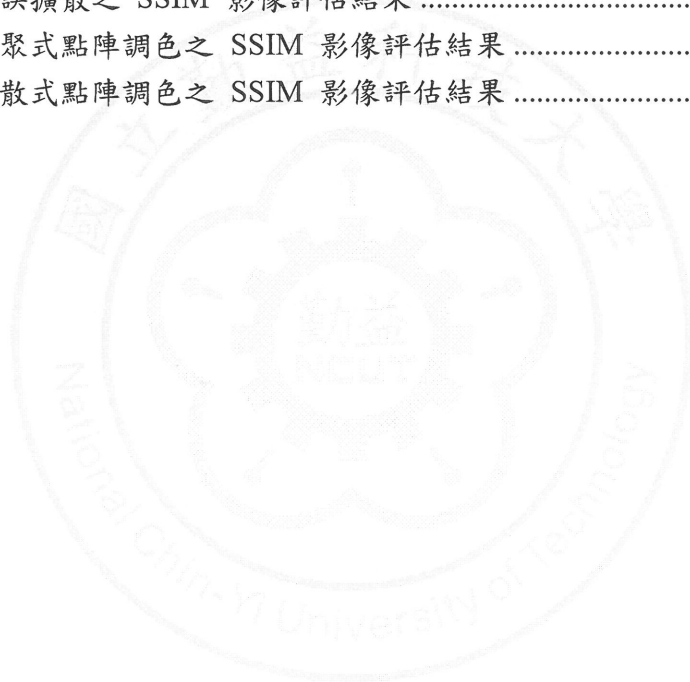
到了要離開勤益的時候了，有空我會回到這裡看看的。希望大家身體健康，再次謝謝老師您的教導和提醒，感謝。

# 目 錄

中文摘要.....	i
英文摘要.....	ii
誌謝.....	iii
目 錄.....	iv
表目錄.....	v
圖目錄.....	vi
第一章 前言.....	1
第二章 半色調影像技術.....	5
2.1 點陣調色法.....	6
2.1.1 群聚式點陣調色.....	7
2.1.2 分散式點陣調色.....	8
2.2 錯誤擴散法.....	11
2.3 半色調影像評估.....	13
第三章 二值化影像與低失真度藏匿.....	19
3.1 DHST、DHPT 與 DHSPT.....	20
3.2 Data Hiding Error Diffusion (DHED).....	26
3.3 Block-Overlapping Parity Check (BOPC).....	28
第四章 線性區塊碼藏匿應用.....	34
4.1 徵狀與標準矩陣.....	34
4.2 線性區塊藏匿碼.....	37
4.3 LBEC 藏匿應用.....	41
第五章 實驗結果.....	46
第六章 結論.....	52
參考文獻.....	53
作者簡歷.....	55

## 表目錄

表 2-1 25-Level 群聚式門檻值排列順序 .....	7
表 2-2 8×8 分散式臨界矩陣 .....	10
表 3-1 泡狀種類表 .....	31
表 3-2 主圖元素位置表 .....	32
表 4-3 使用錯誤擴散之 MPSNR 影像評估結果 .....	50
表 4-4 使用群聚式點陣調色之 MPSNR 影像評估結果 .....	50
表 4-5 使用分散式點陣調色之 MPSNR 影像評估結果 .....	50
表 4-6 使用錯誤擴散之 SSIM 影像評估結果 .....	51
表 4-7 使用群聚式點陣調色之 SSIM 影像評估結果 .....	51
表 4-8 使用分散式點陣調色之 SSIM 影像評估結果 .....	51



## 圖目錄

圖 2-1 連續調(上)與半色調(下) .....	6
圖 2-2 左：Lena 灰階影像，右：使用 25-Level 門檻矩陣產生之半色調影像 ...	8
圖 2-3 左：Lena 灰階影像，右：Lena 使用點陣調色法產生之半色調影像.....	11
圖 2-4 誤差擴散位置.....	12
圖 2-5 左：Lena 灰階影像，右：Lena 使用錯誤擴散法產生之半色調影像.....	13
圖 2-6 影像評估流程圖.....	14
圖 2-7 評估結果 1.....	17
圖 2-8 評估結果 2.....	18
圖 3-1 Lena 半色調影像使用 DHST 藏入 4096 位元 .....	21
圖 3-2 Lena 半色調影像使用 DHPT 藏入 4096 位元 .....	23
圖 3-3 位置標記與關連性權重.....	24
圖 3-4 Lena 半色調影像使用 DHSPT 藏入 4096 位元 .....	25
圖 3-5 Lena 半色調影像使用 DHED 藏入 4096 位元.....	28
圖 3-6 主圖形成示意圖.....	29
圖 3-7 徵狀圖形成示意圖.....	30
圖 3-8 Toggle 圖與泡狀結構示意圖 .....	31
圖 3-9 BOPC 藏匿 .....	33
圖 3-10 Lena 半色調影像使用 BOPC 藏入 4096 位元 .....	33
圖 4-1 標準矩陣示意圖.....	35
圖 4-2 陪集領項示意圖.....	36
圖 4-3 每一個陪集表示 $m$ 個位元的藏匿.....	37
圖 4-4 藏匿步驟示意圖.....	40
圖 4-5 LBEC 結合 DHSPT 技術之藏匿方式示意圖 .....	41
圖 4-6 像素取出示意圖.....	42
圖 4-7 Pair LBEC 選擇藏匿修改位置示意圖 .....	44
圖 5-1 Lena 不同藏匿方式 MPSNR 比較 .....	47
圖 5-2 Lena 不同藏匿方式 SSIM 比較 .....	47
圖 5-3 Goldhill 錯誤擴散圖藏入 4096 位元 .....	48
圖 5-4 Goldhill 錯誤擴散圖使用不同線性區塊碼藏入 49152 位元 .....	49



## 第一章 前言

在網際網路尚未普及的時代，人們的訊息傳遞方式常透過書信往來或是電話來傳遞訊息。但若透過書信傳遞時無法傳輸及時的訊息，雖然可以透過電話達到即時傳輸，卻無法傳遞圖片類型的訊息。因此當網際網路快速發展後大大改善了舊有的訊息傳輸方式，使得人們不管是在生活訊息的取得上或是知識傳遞上都獲得更加便利的途徑。現今網際網路提供一般大眾大量的多媒體資訊傳遞，包括文字、影音、網站、串流資訊、隨選視訊、影像資訊等。而一些個人化行動設備，如 iPad、PDA (Personal Digital Assistant)、手機等越來越普及化，使得多媒體資料並不只侷限於在個人電腦上處理與傳輸，更加速了多媒體資料的傳播與取得。當這些數位化多媒體資訊在網際網路上傳遞時會容易產生智慧財產權與非法使用的問題。如 YOUTUBE 上之私人影音資料與個人網站上之個人影像、文字資料容易被非法取得與盜用之問題…等。而數位浮水印便是一種防止私人或商業資料被第三者非法取得與濫用的一種有效嚇阻方法。數位浮水印主要是將能代表合法擁有人的版權符號 (如註冊商標、個人肖像等) 藏入欲保護的數位多媒

體資訊中，即使非法接收者採取一些可能的訊號處理模式進行惡意攻擊，也能偵測資料是否遭到修改或是能取出藏入的版權符號，因此有效的取出藏入的版權符號即是一個重要的問題。

在數位浮水印中資料藏匿是一個不可或缺的技术。資料藏匿的技术可應用在版權保護、媒體驗證、內容辨証...等。而這些應用在數位影像上有一些基本技术要求。對於藏匿後的數位影像要求有失真度 (Fidelity)、藏匿容量 (Payload)、強建性 (Robustness)、安全性 (Security)、可偵測性 (Detectability)。基於實際考量，數位浮水印經過一些特殊技术嵌入載體訊號 (Host signal) 後，取出資料時對於原始載體訊號是否需要完全知道、部分知道或完全不可知道可分別稱為非盲目 (Nonblind)、半盲目 (Semiblind) 與盲目 (Blind) 的資料藏匿系統。這些可知的載體資料一般稱為額外資訊 (Side Information)，額外資訊對於數位浮水印或浮水印偵測上是很重要的一種資訊。

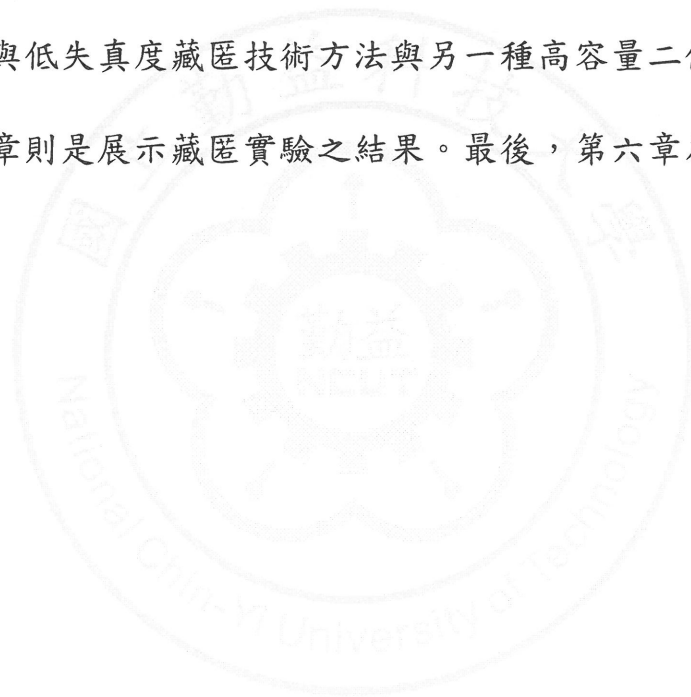
在資料藏匿的研究上其中有一個方法即是利用具額外資訊的編碼 (Coding with side information) 方式應用於數位浮水印技术。通道編碼具完美額外資訊與資料藏匿系統是一個等同的架構 [1]~[2]。在具額外資訊的通道編碼中通常數位載體資料會被視為額外資訊，其中亦限制

資料藏匿編碼與載體之間的差別不超過  $\delta$  個位元，其中  $\delta$  介於 0 至 0.5 之間。這個問題的延伸是不具完美額外資訊的通道編碼問題，也就是說系統中的額外資訊是具有雜訊干擾存在，這個問題分別在訊源編碼與通道編碼上可稱為 Wyner-Ziv 與 Gelfand-Pinker 問題 [3]~[6]。在訊息理論上對於額外資訊的編碼方式是以分群 (binning) 為解決方案 [7]~[10]。雖然大量的研究報告與技術期刊都有相關的理論與技術的探討，但是有效的演算法與編碼方法還是不夠完備，因此如何具備實用性與可行性是具備額外資訊編碼問題應用在資料藏匿上的重要考量。

在本論文中，我們所關注的是一種特別的影像類型：半色調影像 (Halftone image) 或稱二值化影像。半色調 (Halftoneing) [16]~[19] 是一種將灰階影像轉換成二值化影像的處理方法，處理過後的影像從遠處觀看近似是原本的灰階影像。這是藉由人類視覺敏銳度不高，利用黑色網點其疏密程度來表現出原本灰階影像所要顯示的色階強弱。半色調影像通常出現在雜誌、報紙、書籍、列印輸出以及傳真文件，它可以降低印刷時成本。但在目前一般所使用的浮水印藏匿技術，絕大多數屬於灰階影像，無法直接應用在半色調影像上，因此我們就目前

現有之半色調影像資料藏匿技術提出新的改進想法，並利用半色調影像特性提出新的藏匿方法。

本論文分為六章，在第二章中介紹何謂半色調影像與其轉換技術，另外會說明如何評估半色調影像品質。第三章中則介紹目前既有的二值化影像與低失真度藏匿技術。第四章說明本論文所提出之改進二值化影像與低失真度藏匿技術方法與另一種高容量二值化影像藏匿方式。第五章則是展示藏匿實驗之結果。最後，第六章為本論文之結論。



## 第二章 半色調影像技術

自然界中物體透過光的作用所展現出的不同色彩變換稱為色調 (Tone) ，但是在自然界中色調都是屬於連續色調，如果用數位器材將影像儲存就需要將連續色調量化為數值後才能儲存，但在利用不同媒介對影像做重建時卻礙於媒介的限制。以灰階影像來說，在不同的媒介會有不一樣的展現方式；例如在電腦螢幕上，可以利用電流的強和弱來控制其像素所發出的亮度，產生出色階的效果。但是一般的列印設備(如噴墨印表機)，只能控制其墨水要印或不要印，而不能控制其顏色的強弱，這時就需要倚靠半色調技術來完成。半色調技術可以在列印時呈現出接近感觀視覺所看到的色階效果，藉由調整單位面積中網點的疏密程度；較暗的區域網點較為密集，較亮的區域網點較為稀疏，並利用人類眼睛敏銳性不高的特性，表現出原始影像所要表現的色階強弱效果，如圖 2-1 所示。

半色調技術從網點輸出結果來區分可分為 AM 及 FM 兩種，一種為網點大小不一但網點中心間距保持一定的振幅調變法 (Amplitude Modulation, AM) 又可稱為點陣調色法 (Order dither) ；以及網點大小保持一定但其網點配置頻率為不定的隨機分布，稱為頻率調變法

(Frequency Modulation, FM) 或是錯誤擴散法 (Error diffusion) ，點陣調色法主要原理在於模擬連續色調時灰階值較小的區域時以相對較大網點輸出，反之以較小網點輸出，錯誤擴散法主要原理在於以網點的分布不相等頻率模擬輸入影像連續色調時灰階值的大小 [19] 。以下將對點陣調色法與錯誤擴散法進行說明並介紹其影像評估方式。

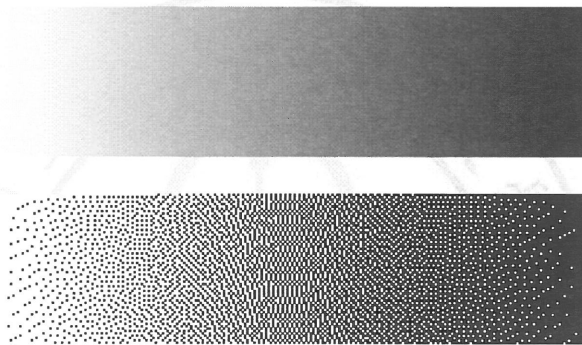


圖 2-1 連續調(上)與半色調(下)

## 2.1 點陣調色法

1951 年，Goodall 發現當在電視螢幕上顯示影像時在圖像邊緣的地方會有失真，而這些失真可以在輸入訊號時加入一些小雜訊經過訊號量化後降低 [16] 。之後有許多學者提出不同的門檻值矩陣來產生半色調影像，利用不同大小、不同排列的臨界矩陣可以形成不同的網點排列，此方法即被稱為點陣調色法 (Order dither) 。臨界矩陣又可分為

兩種模式:群聚式 (Clustered dot) 與分散式 (Dispersed dot) ，接下來將簡略介紹這兩種模式 [16] 。

### 2.1.1 群聚式點陣調色

群聚式顧名思義就是將介於相同門檻值之間的像素聚集在一起，而門檻值所排列的方式就是依照這種方式排列。表 二-1 列出一種 25-Level 門檻值排列順序，主要是將原本灰階影像中介於 0~255 的色階在經過點陣調色處理過後，由視覺觀察遠觀會近似 25 色階的灰階影像。

表 二-1 25-Level 群聚式門檻值排列順序

3	10	16	11	4
9	20	21	17	12
15	24	25	22	13
8	19	23	18	5
2	7	14	6	1

確定了門檻值所需要的排列順序，接著就需要考慮依照這順序需要放入什麼樣的門檻值。根據 [16] 所述，門檻值定義如下：

$$t_k = 2^b \times \left( \frac{2k-1}{2 \times M \times N} \right), k=1,2,\dots,M \times N \quad (2-1)$$

其中  $M$  與  $N$  為門檻矩陣的行數與列數， $k$  為門檻值之排列

順序， $b$  為表示像素值所需要的位元數， $t_k$  則為依照排列順序所應放入的門檻值。取得門檻值矩陣後，再將原始灰階影像分成與門檻值矩陣相同大小之不重疊區塊，再將每一區塊中的元素依序與門檻值矩陣裡對應之元素比較，當區塊中像素值比門檻值中相對應元素小，則輸出新的像素值 0，否則則輸出新的像素值 255。圖 2-2 為經由表 2-1 所排列之門檻值矩陣處理後之影像。

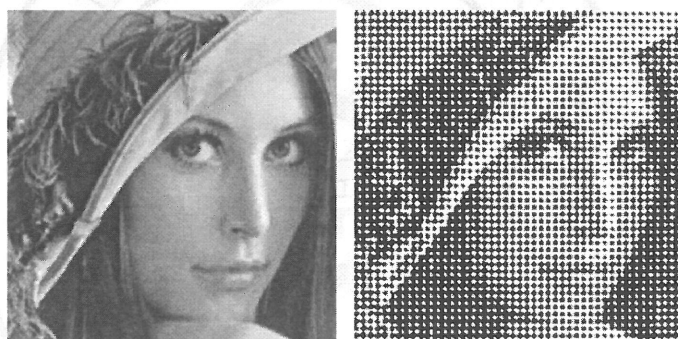


圖 2-2 左：Lena 灰階影像，右：使用 25-Level 門檻矩陣產生之半色調影像

### 2.1.2 分散式點陣調色

分散式與群聚式主要不同在於門檻值之排列，不像群聚式將高亮度與中亮度的色調聚集，而是呈現分散狀態。1973 年，Bayer 利用傅立葉分析推導出著名的 Bayer 矩陣：



$$T_4 = \begin{bmatrix} 0 & 8 & 2 & 10 \\ 12 & 4 & 14 & 6 \\ 3 & 11 & 1 & 9 \\ 15 & 7 & 13 & 5 \end{bmatrix} \quad (2-2)$$

之後 Judice、Jarvis 和 Ninke 三人利用 Limb 所提出的  $T_2$  矩陣以遞迴方式產生  $2^m \times 2^m$  且  $k = 2^m$  之大型矩陣：

$$T_2 = \begin{bmatrix} 0 & 2 \\ 3 & 1 \end{bmatrix} \quad (2-3)$$

$$T_k = \begin{bmatrix} 4T_{k/2} + T_2[0,0]U_{k/2} & 4T_{k/2} + T_2[0,1]U_{k/2} \\ 4T_{k/2} + T_2[1,0]U_{k/2} & 4T_{k/2} + T_2[1,1]U_{k/2} \end{bmatrix} \quad (2-4)$$

其中  $U_k$  為一個  $k \times k$  大小中元素值皆為 1 的矩陣， $T_2[i,j]$  表示  $T_2$  矩陣中位置為  $(i,j)$  的元素。Bayer 矩陣也可以此方式得出相同結果。此方法可以將  $2 \times 2$  的  $T_2$  矩陣擴展成  $4 \times 4$ 、 $8 \times 8$ 、 $16 \times 16 \dots$  之矩陣。表 二-2 為經由此方式所產生之  $8 \times 8$  臨界矩陣。當取得臨界矩陣後，分散式點陣調色法演算步驟如下。假設有一原始灰階影像  $I_G$ ，其大小為  $x \times y$ ，所使用的臨界矩陣如表 二-1 所示，則：

步驟一：將  $I_G$  中的灰階值量化成臨界值矩陣的階調數

$$I'_G(x, y) = T_1 \times T_2 \times \frac{I_G(x, y)}{255} \quad (2-5)$$

其中  $T_1$  和  $T_2$  為臨界矩陣的長和寬。

步驟二：將  $I_G$  分成與臨界矩陣相同大小的區塊  $B$ ，並將每個區塊與臨界矩陣比較後輸出。

$$h(i, j) = \begin{cases} 1, & B(i, j) > T(i, j) \\ 0, & B(i, j) \leq T(i, j) \end{cases} \quad (2-6)$$

$h(i, j)$  為輸出的半色調影像，其中輸出像素值為 1 表示亮點，0 表示黑點。圖 2-3 中左圖顯示原始 Lena 灰階影像，右圖則是經過點陣調色法處理過後之半色調影像。

表 二-2 8×8 分散式臨界矩陣

0	32	8	40	2	34	10	42
48	16	56	24	50	18	58	26
12	44	4	36	16	46	6	38
60	28	52	20	62	30	54	22
3	53	11	43	1	33	9	41
51	19	59	27	49	17	57	26
15	47	7	39	13	45	5	37
63	31	55	23	61	29	53	21



圖 2-3 左：Lena 灰階影像，右：Lena 使用點陣調色法產生之半色調影像

## 2.2 錯誤擴散法

原始的灰階連續調影像像素值介於 0 到 255，但是與螢幕輸出不同，因為列印設備在列印時只有印(黑點)與不印(白點)，因此需要將原本連續調的影像轉換成二值化，可是將像素量化成 0 或 255 又會產生誤差與影像破壞。為了降低影像破壞並保留原本連續調影像的特性，Floyd 與 Steinberg 提出錯誤擴散 (Error diffusion) 的方法。錯誤擴散是將輸入的影像像素點與臨界值比較後將像素值量化為 0 或 255，因量化後的結果與輸入的影像像素點會產生量化誤差，藉由加權的方式將量化後的誤差擴散至其他相鄰並尚未處理的像素點位置，如圖 2-4 所示。

X	X	X
X	$e(x,y)$	7/16
3/16	5/16	1/16

圖 2-4 誤差擴散位置

假設有一原始灰階影像  $I_G$ ，其大小為  $x \times y$ ，像素比較所用的門檻值  $T$  為 128，則根據以下錯誤擴散法步驟將灰階影像  $I_G$  轉換成半色調影像  $I_H$ ：

步驟一：由  $I_G$  中位置 (1,1) 開始由左至右、由上至下依序輸入像素值。

步驟二：將像素值與門檻值  $T$  比較後將其量化為 0 或 255 並計算量化後的誤差值。

$$e(x, y) = I_G(x, y) - I_H(x, y) \quad (2-7)$$

$$I_H(x, y) = \begin{cases} 255 & \text{if } I_G(x, y) \geq T \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2-8)$$

步驟三：將誤差值依照權重擴散並更新至周圍的像素值如圖 2-4 所示的位置。

$$\begin{aligned}
I_G(x, y+1) &= I_G(x, y+1) + 7 \times e(x, y) / 16 \\
I_G(x+1, y) &= I_G(x+1, y) + 5 \times e(x, y) / 16 \\
I_G(x+1, y+1) &= I_G(x+1, y+1) + 1 \times e(x, y) / 16 \\
I_G(x+1, y-1) &= I_G(x+1, y-1) + 3 \times e(x, y) / 16
\end{aligned}
\tag{2-9}$$

步驟四：判斷目前是否處理完所有像素值，若是沒有，則輸入下一個欲處理的像素值並回到步驟二繼續處理。

其輸出結果如圖 2-5 所示。圖 2-5 中左圖顯示原始 Lena 灰階影像，右圖則是經過錯誤擴散法處理過後之半色調影像。



圖 2-5 左：Lena 灰階影像，右：Lena 使用錯誤擴散法產生之半色調影像

### 2.3 半色調影像評估

本篇論文所使用之影像評估方式有兩種，分別為 MPSNR (Modify Peak Signal-to-Noise Ratio) [13] 與 SSIM (Structural Similarity Image Measurement) [17]。MPSNR 是先使用高斯低通濾波模擬人類視覺中的半色調影像，將半色調影像轉換回灰階影像，再與原始灰階影像

計算 PSNR 值。

$$PSNR = 10 \times \log_{10} \frac{255^2}{MSE} \quad (2-10)$$

$$MSE = \frac{1}{w+h} \sum_{x=1}^w \sum_{y=1}^h (G_{(x,y)} - G'_{(x,y)})^2 \quad (2-11)$$

SSIM 是由 Zhou Wang, Alan Conrad Bovik, Hamid Rahim Sheikh 與 Eero P. Simoncelli 所提出的影像品質評估方式。SSIM 影像品質評估方法考慮了三種失真，對比、明度以及結構相似性，而這個評估方式是考慮人眼模式與結構相似性的相關程度高，故 SSIM 是為了使結構相似度比較的結果與人眼模式更加接近而設計的。

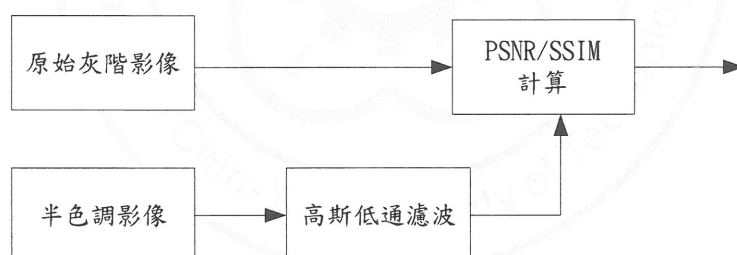


圖 2-6 影像評估流程圖

在 SSIM 中，假設有兩個非負數的影像  $x$  與  $y$ ，首先定義以下變數：

1. 比較明度前要先測量影像明度，明度之測量必須求出影像的平均明度。

$$\mu_x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^1 x_i \quad (2-12)$$

$$\mu_y = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^1 y_i \quad (2-13)$$

2. 從影像訊號中減去平均明度，因此利用標準差公式來達成並且對影像執行對比測量。

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu_x)^2 \quad (2-14)$$

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (y_i - \mu_y)^2 \quad (2-15)$$

$$\sigma_{xy}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu_x)(y_i - \mu_y) \quad (2-16)$$

3. 信號已經透過標準差被正規化，而結構比較就要透過這些被正規化的影像來處理，將利用影像的平均明度與對比測量加以結合進行完整的結構相似度比較。

為了避免出現  $\mu_x^2 + \mu_y^2$  非常接近或等於零的情況，因此設計  $C_1$  與  $C_2$ 。令  $C_1 = (K_1 L)^2$ ， $C_2 = (K_2 L)^2$ ，其中  $L$  是影像所能表現的像素值而定，以 8 位元所能表示的像素值為例，其範圍較於 0~255 之間，而  $K_1 \ll 1$ ， $K_2 \ll 1$  但分別都為兩個不同的值。最後所得到

SSIM 公式為：

$$SSIM(x, y) = \left[ \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)(2\sigma_{xy})}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_2)} \cdot \frac{2\sigma_x\sigma_y}{\mu_x^2 + \mu_y^2} \right] \quad (2-17)$$




評估結果值將介於 0~1 之間，當兩張完全相同之影像執行 SSIM 評估時，結果值將會是 1。但由於評估影像為半色調影像，因此與 MPSNR 一樣先將半色調影像經過高斯低通濾波後再進行 SSIM 評估。圖 2-7 圖 2-8 為 Lena 影像經過不同半色調處理後所得之評估結果，上圖為半色調影像，下圖為低通濾波後影像。



圖 2-7 評估結果 1

	
	
<p>錯誤擴散</p> <p>SSIM = 0.972, MPSNR = 27.203</p>	<p>群聚式點陣調色 (25-Level)</p> <p>SSIM = 0.9732, MPSNR = 27.355</p>

圖 2-8 評估結果 2

	
	
<p>分散式點陣調色 (<math>8 \times 8</math>) SSIM = 0.9523, MPSNR = 24.767</p>	<p>分散式點陣調色 (Bayer <math>T_4</math>) SSIM = 0.936, MPSNR = 23.681</p>

### 第三章 二值化影像與低失真度藏匿

半色調影像(Halftone images)又可稱為二值化影像，是一種二階且與原始影像接近感觀視覺的一種影像表示方法。它有別於二元影像只把影像分成兩階而沒有考慮到整體影像的品質。因此二值影像常應用在許多地方，如書、報紙、雜誌、傳真和列印輸出。當這些需要商品化時，版權的保護和驗證變的重要許多。資料藏匿技術的要求有容量、失真度、強建性，可視性等不同的要求。其中依資料藏入後載體影像是否可以回復而言，二元資料藏匿可分為失真二元藏匿與無失真二元藏匿。無失真二元藏匿雖然接收端可以無失真的回覆原影像，但是無失真的負載 (payload) 比失真二元藏匿低。

Ming Sun Fu 與 Oscar C. Au 在 2000 年提出了 DHST (Data Hiding Self Toggling) [11] 的二值化資料藏匿方法，但是容易使人發現有資料藏入載體影像中，因此之後又提出改進的 DHPT (Data Hiding Pair Toggling) [12] 、 DHSPT (Data Hiding by Smart Pair Toggling) [13] 與 DHED (Data Hiding Error Diffusion) [14]。為了減少藏匿時所需要修改的位元數，Richard YM Li 、 Oscar C. Au 與其他學者在 2007 年時

又提出 BOPC (Block-Overlapping Parity Check) [15] 藏匿方法。接下來將介紹這些藏匿方法。

### 3.1 DHST、DHPT 與 DHSPT

在 DHST 中，先利用一個亂數產生器與一個亂數種子從二值化載體影像中取得藏匿位元所要藏匿的位置，接著將欲藏匿的位元與藏匿位置上的像素值做比對，若是相同則不改變像素值，否則就強制改變藏匿位置中的像素值。假設欲藏入的位元為 1，則強制改變藏匿位置上的像素值為 255；若是欲藏入的位元為 0，則強制改變藏匿位置上的像素值為 0。一般來說會有 0.5 的機率使得藏入位元與二值化載體影像中的像素值不同，而必須強制改變像素值，Ming Sun Fu 與 Oscar C. Au 稱此動作為 toggled，由於只有藏匿位置上的像素值被改變，因此又可稱之為 self-toggling。取出所藏匿的資料則只需要利用原本的亂數產生器與亂數種子重新取的藏匿位置，再依序讀取藏匿位置上的像素值，若是讀取到的像素值為 255 則代表此位置所藏匿的位元為 1；讀取到的像素值為 0 時則代表此位置所藏匿的位元為 0。DHST 的優點是演算方法非常簡單，其主要計算要求主要在於亂數產生器產

生亂數時所需要的計算。缺點則是由於突然去更改原始二值化載體影像中的像素值，因此會容易產生像胡椒鹽雜訊般黑色或白色的像素群集，如圖 3-1 所示。這種像胡椒鹽雜訊般黑色或白色的像素群集容易使有心人士發現載體影像中的藏匿位置，使得藏匿位置遭到竄改或破壞，而使得遺失部分所藏匿的位元。



圖 3-1 Lena 半色調影像使用 DHST 藏入 4096 位元

由於 DHST 突然更改原始二值化載體影像內的像素值，進而影響藏匿位置附近區域黑色或白色像素的數量，因此為了減少 DHST 所產生的黑色或白色的像素群集，所以將 DHST 修改成 DHPT 來緩解類似胡椒鹽雜訊般黑色或白色的像素群集問題。

在 DHST 中若是欲藏匿的位元相同則不改變二值化載體影像內的像素值，否則就強制改變藏匿位置中的像素值。但是 DHPT 卻是為了避免更改藏匿位置與周圍區域的黑白比例，因此所尋找的是與藏匿位置周圍互補的像素值進行對換，以保留藏匿區域原本的色階亮度。假設有一二值化載體影像，則先將影像分成  $3 \times 3$  不重疊區塊以避免重複交換的可能，其中區塊中心稱為主要像素 (Master pixel)，區塊中其他像素稱為鄰近像素 (Neighborhood pixel)。再以一個亂數產生器與一個亂數種子計算出所要藏匿的區塊。將欲藏入的位元與每個欲藏匿的主要像素值做比對，相同則不改變像素值；若是不同則找出區塊中主要像素值與鄰近像素值互補的位置進行交換。其中若是發生區塊中所有像素值完全相同，則在重新尋找一個新的藏匿區塊。藏入後的影像如圖 3-2 所示，Ming Sun Fu 與 Oscar C. Au 稱此交換動作為 Pair-toggling。但由於是隨機與相異的鄰近像素做交換，並無考慮到主要像素與鄰近像素的關聯性，以及交換後鄰近像素與更外圍像素間的關聯性，因此在交換後會有機率產生少量的黑色或白色的像素群集。DHPT 的運算複雜度比 DHST 略大，但資料取出的複雜度兩者則是相同的。



圖 3-2 Lena 半色調影像使用 DHPT 藏入 4096 位元

DHPT 仍然會產生少量的黑色或白色的像素群集，因此 Ming Sun Fu 與 Oscar C. Au 提出了以考慮藏匿位置與鄰近像素的關聯性，藉此更進一步去減少 DHPT 所產生的黑色或白色的像素群集的 DHSPT 方法。DHSPT 在選擇藏匿區塊與 DHPT 相同，但在藏入藏匿位元時所執行的 Pair-toggling 兩者是不同的。DHPT 是任意找出主要像素與鄰近像素互補的位置進行交換，DHSPT 則是在交換前計算像素間的關聯性找出對此區塊影響最小的位置進行交換。

為了考慮二值化載體影像內每個位置的像素值與鄰近  $3 \times 3$  區域



內像素間的關聯，這區域內的 9 個位置分別被標記成  $x_0 \cdots x_8$ ，每個位置所對應的關聯性權重如圖 3-3 所示。根據此權重分配，主要像素與鄰近像素間的關聯性定義如下：

$$con(m,n) = \sum_{i=1}^8 w(i) f(x_0, x_i), \quad (3-1)$$

$$f(x,y) = \begin{cases} 1, & x = y \\ 0, & x \neq y \end{cases}$$

$x_1$	$x_2$	$x_3$	1	2	1
$x_4$	$x_0$	$x_5$	2		2
$x_6$	$x_7$	$x_8$	1	2	1

圖 3-3 位置標記與關連性權重

其中  $con(m,n)$  表示主要像素與鄰近像素間有多少個像素相同，當  $w(i)=1$  時  $i=1,3,6,8$ ；而當  $w(i)=2$  時  $i=2,4,5,7$ ， $con(m,n)$  的值介於 0 到 12 的整數值，當值為 12 時代表此區域中所有像素皆相同，反之若是為 0 則表示主要像素與所有鄰近像素為互補像素。在 DHSPT 中必須先計算藏匿前所有像素與其鄰近像素間的  $con_{before}(m,n)$ ，再挑選出要藏匿的區塊。如果主要像素與鄰近像素互



為水平或垂直，那對於主要像素來說權重值為 2，而且  $con_{before}(m,n)$  與 Pair-toggling 後再計算的關聯性  $con_{after}(m,n)$  相加為 10；若是並非互為水平或垂直，對於主要像素來說權重值為 2，則 Pair-toggling 前後的相關性相加為 11。因此  $con_{after}(m,n)$  可以以下式求得：

$$con_{after}(m,n) = \begin{cases} 10 - con_{before}(m,n), & \text{鄰近像素為水平或垂直} \\ 11 - con_{before}(m,n), & \text{鄰近像素為四個角落} \end{cases} \quad (3-2)$$

找出所有與主要像素互補的鄰近像素位置，並計算其  $con_{after}(m,n)$ 。

再從所有  $con_{after}(m,n)$  中選出最小值執行 Pair-toggling。

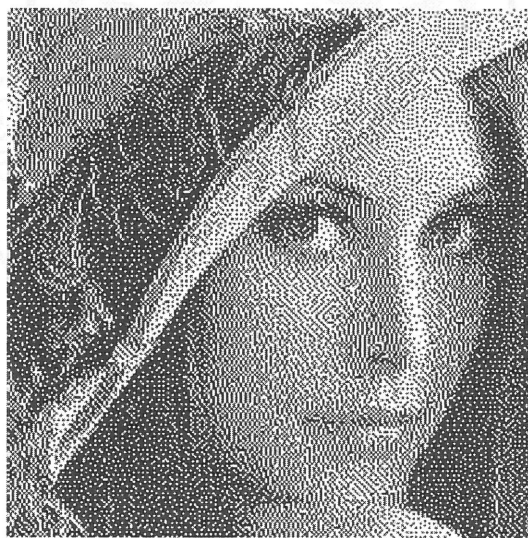


圖 3-4 Lena 半色調影像使用 DHSPT 藏入 4096 位元

相對於 DHPT，由於藏匿時必須要計算  $con_{before}(m,n)$  與  $con_{after}(m,n)$ ，使得 DHSPT 的計算複雜度相對增加。但是藏匿時有

考慮主要像素與鄰近像素間的關聯性，使得整體影像能得到更好的藏匿後的影像品質。在資料取出部分，DHSPT 與 DHST、DHPT 因為取出方法相同，因此複雜度相同。

### 3.2 Data Hiding Error Diffusion (DHED)

雖然 DHSPT 可以得到比 DHPT 更好的視覺效果，但仍然可以觀察到細微像胡椒鹽雜訊般黑色或白色的像素群集，特別是在灰色光滑的區域。因此 Ming Sun Fu 與 Oscar C. Au 提出在原始灰階影像透過錯誤擴散轉換成二值化影像時，將欲藏匿的位元同時藏入以得到更好的影像品質，被稱為 DHED。

在錯誤擴散中會讓每個像素與門檻值做比較，當像素值大於門檻值時會輸出新的量化像素值 255，若是小於門檻值則會輸出新的量化像素值 0。但是輸入與輸出的像素值會有量化誤差，會透過擴散的方式將誤差擴散至周圍尚未處理像素點位置。在 DHED 中，利用一個亂數產生器與一個亂數種子產生出所需要藏匿的位置，當錯誤擴散處理至需要藏匿的位置，輸出的新量化像素值並非由門檻值做決定，而是依照欲藏匿的位元來決定輸出。藏匿步驟如下：

步驟一：利用一個亂數產生器與一個亂數種子產生出所需要藏匿的位置。

步驟二：由  $I_G$  中位置 (1,1) 開始由左至右、由上至下依序輸入像素值。

步驟三：當目前所輸入的像素位置並非需要藏匿的位置，則將像素值與門檻值  $T$  比較後將其量化為 0 或 255 並計算量化後的誤差值，如 (2-6)(2-7) 式。

步驟四：當目前所輸入的像素位置為需要藏匿的位置時，則根據所要藏入的位元決定其量化輸出，並計算量化後的誤差值。

$$e(x, y) = I_G(x, y) - I_H(x, y) \quad (3-3)$$

$$I_H(x, y) = \begin{cases} 255 & \text{if hiding bit is 1} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3-4)$$

步驟五：將誤差值依照權重擴散並更新至周圍的像素值，如 (2-8) 式。

步驟六：判斷目前是否處理完所有像素值，若是沒有，則輸入下一個欲處理的像素值並回到步驟二繼續處理。

DHED 輸出結果如圖 3-5 所示。DHED 計算複雜度主要來自於

錯誤擴散與利用亂數產生器取得所需要藏匿的位置。但在資料取出方面與 DHST 方法相同，因此複雜度也相同。



圖 3-5 Lena 半色調影像使用 DHED 藏入 4096 位元

### 3.3 Block-Overlapping Parity Check (BOPC)

一般來說藏入位元與二值化載體影像中的像素值會有 0.5 的機率不同，而需要變更二值化載體影像中的像素值達到資料藏匿的目的。為了降低位元藏入時所需要對二值化載體影像中更動像素的數量，Richard YM Li、Oscar C. Au 與其他學者提出 BOPC 這個藏匿方法，來達到降低藏匿時所需要更動像素的數量。此方法可以結合 DHSPT 以達到更好的藏匿影像品質。在 BOPC 中，假設有一個數量為  $L_x \times L_y$  個位元的欲藏匿的訊息  $L$ ，此訊息可能是二值化數位浮

水印或是含有秘密的二值化訊息，要藏入大小為  $H_x \times H_y$  的二值化載體影像  $H$  當中。在藏匿過程中會使用幾個不同的資料結構：主圖、徵狀圖與 toggle 圖，下面將會說明這些不同的資料結構與 BOPC 藏匿過程。

在載體影像中像素可以分為兩種種類：主要像素與附屬像素，主要像素用來作為藏匿用；附屬像素則可以執行 Pair-toggling。因此先將載體影像分成  $3 \times 3$  不重疊的區塊，每個區塊中心稱為主要影像，其他則是附屬像素。首先使用一個亂數產生器與一個亂數種子  $K$  產生  $(2L_x + 1) \times (2L_y + 1)$  個亂數位置，而這些亂數位置皆是由主要像素的位置所構成。將其取出的主要像素有左而右、由上到下重新構成一張主圖  $M$ ，如圖 3-6 所示。

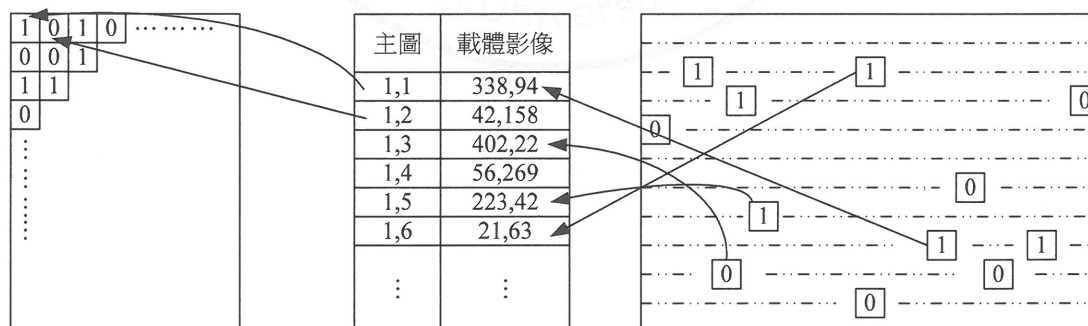


圖 3-6 主圖形成示意圖

在主圖中每個元素將被分割成  $3 \times 3$  大小的部分重疊區塊，並計算出每個區塊中奇偶同位值。將此奇偶同位值依序排成所得到的矩陣稱為徵狀圖，如圖 3-7 所示。在主圖中之所以分割區塊時要分成部分重疊的區塊，是因為每個區塊中藉由改變其奇偶同位值，即可藏一個位元。若是附近區塊藏匿時也需要改變奇偶同位值，只需要藉由改變主圖中區塊間重疊部分的元素，藉此控制奇偶同位值的變動，達到減少藏匿時對於載體影像所需要修改的像素值。

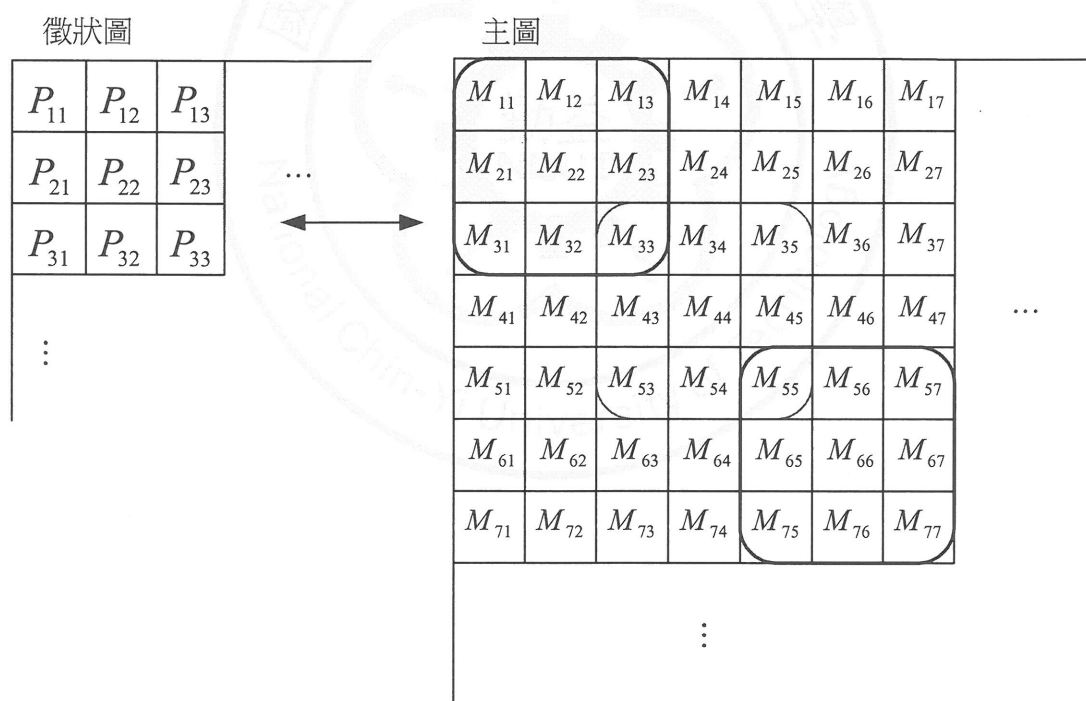


圖 3-7 徵狀圖形成示意圖

將欲藏匿的訊息  $L$  與得到的徵狀圖利用 XOR 運算即可得到

Toggle 圖。在 Toggle 圖中數值為 1 的位置即是徵狀圖中需要修改的位置，再利用表 三-1 將 Toggle 圖中 1 的位置分類並編號，最後形成泡狀結構。泡狀結構可分為四類，但是每一種泡狀結構代表著主圖中只需要變更 1 個元素即可完成藏匿。以圖 3-8 為例，假設徵狀圖  $P$  與欲藏匿的訊息  $L$  皆為  $6 \times 6$  大小，利用 XOR 運算得到 Toggle 圖  $T$  後，將 Toggle 圖中 1 的位置經過分類可得出有泡狀結構的 Toggle 圖  $T'$ 。

表 三-1 泡狀種類表

種類	1	2	3	4
泡狀排列	1	2 2	3 3	4 4 4 4

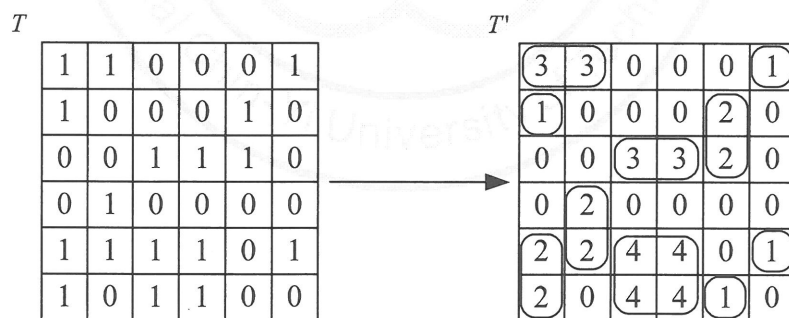


圖 3-8 Toggle 圖與泡狀結構示意圖

表 三-2 主圖元素位置表

種類	元素位置
1	$M_{2i,2j}$
2	$M_{2i+1,2j}$
3	$M_{2i,2j+1}$
4	$M_{2i+1,2j+1}$

經過泡狀分類後每一種泡狀結構中代表著主圖內某個元素需要改變，不同的泡狀結構可以透過表 三-2 得知在主圖中需要改變的元素位置為何，圖 3-9 簡略說明如何找到主圖中需要改變的元素位置。找出所有位置後對應到二值化載體影像中可以得知哪個像素位置需要被改變，再對這些位置利用 DHSPT 完成整個藏匿方法。BOPC 要將資料取出首先利用藏匿時所用的亂數產生器與亂數種子  $K$  重新取出像素組成主圖，再分割成  $3 \times 3$  大小的部分重疊區塊並計算出每個區塊中奇偶同位值，所得出的結果即是藏入的資料。



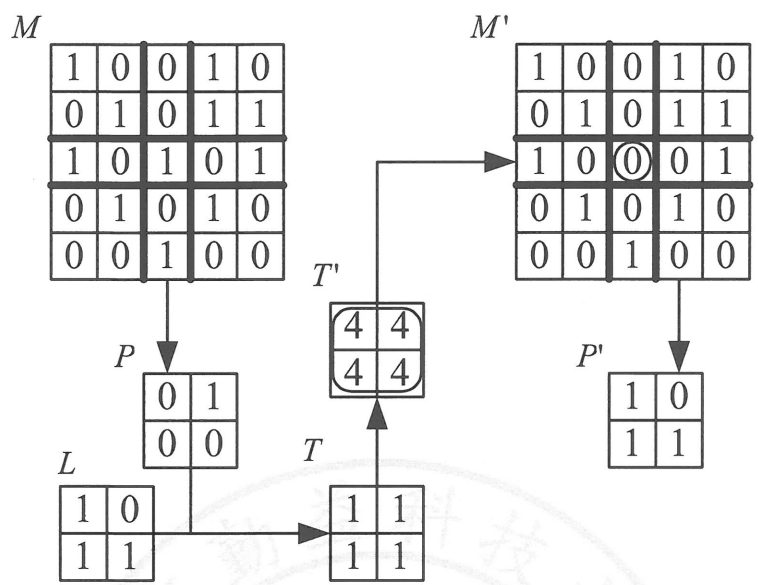


圖 3-9 BOPC 藏匿



圖 3-10 Lena 半色調影像使用 BOPC 藏入 4096 位元

## 第四章 線性區塊碼藏匿應用

在一般二元藏匿中對訊息理論可分為兩種方向，一種是屬於額外資訊之編碼問題，另一種則為數位浮水印之應用技巧。由於額外資訊之通道編碼的數學模型與解決方法相對於額外資訊之訊源編碼有異曲同工之處，因此本章將介紹本論文所使用的額外資訊編碼針對半色調影像進行藏匿。過去 20 年間傳統通道碼最大之成就為引進渦輪碼與低密度檢查碼，此兩種通道碼主要是使用遞迴式和積演算法逼近薛農之極限。如同傳統之通道編碼與訊源編碼，在二元或高斯訊號源通過二元對稱通道或高斯雜訊通道下，額外資訊通道編碼之理論上限與額外資訊訊源編碼的理論下限均已經有數學公式，但是如何使用實際之編碼技術達到理論之極限仍是一件非常挑戰之工作。理論上我們可以使用自然隨意分群法 (Random binning) 逼近理論值，但此方法複雜度過大，在此我們利用現有的線性區塊碼進行模擬研究。

### 4.1 徵狀與標準矩陣

這節我們將描述線性區塊碼之標準陣列的基本原理。首先一個標準陣列如圖 4-1 所示。



圖 4-1 標準矩陣示意圖

圖中陣列第一列所表示的是線性區塊碼  $C(n,k)$  之所有字碼 (Codeword) 陳列之處。其字碼總數為  $2^k$  個。左邊第一行所陳列的向量為權重最小的錯誤向量也稱為陪集領項 (Coset leader)。其數目總共有  $2^{n-k}$  個。字碼總數配合上陪集領項總數形成一個方形的陣列，其中  $2^n$  個向量為所有  $n$  位元的二進制向量。以下我們將標準陣列以幾何空間描述如圖 4-2。其中陪集領項與字碼之間的關係如圖所示。所有的  $2^k$  個線性碼的字碼把  $2^n$  向量空間分割成  $2^k$  個區塊，每一個區塊的中心使用一個字碼表示。而每一個字碼的周圍總共有  $2^{n-k} - 1$  個與此字碼最接近的錯誤向量，如此形成一個解碼區塊。利用此特性，當收

到  $n$  個位元的向量  $r$  時，此向量必定存在於某一個解碼區域內，因此我們可以將  $r$  解碼成漢明距離最接近的字碼。此時  $r$  具有最小的位元失真特性，此失真特性為  $(d_{\min} + 1)/2$ 。因此達到將  $2^n$  個向量量化成  $2^k$  個索引向量的一個簡單方式。

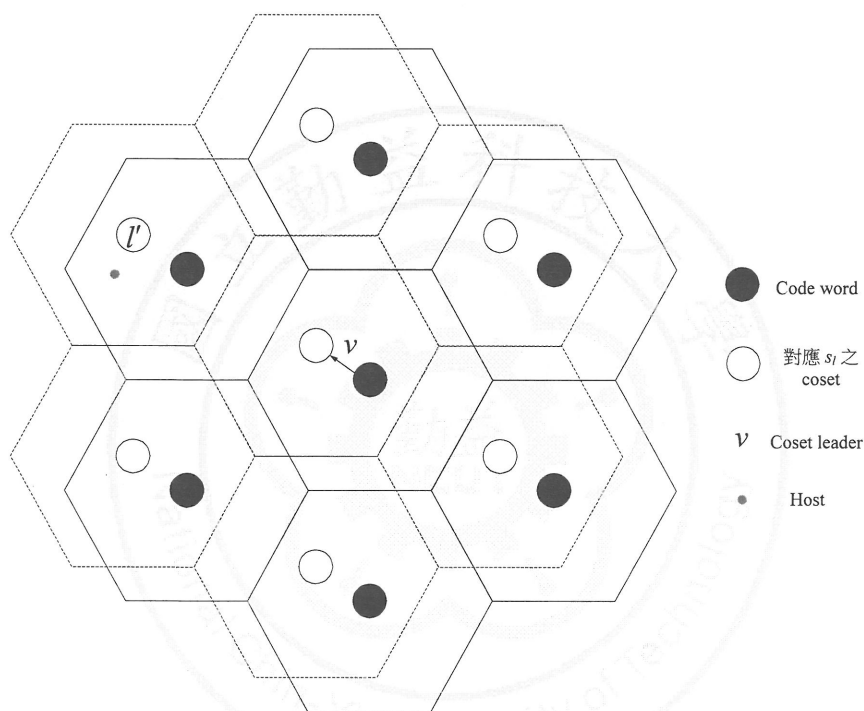


圖 4-2 陪集領項示意圖。

另外使用標準陣列進行二元資料藏匿說明如下。一個  $C(n, k)$  二元線性碼可以藏匿  $n - k$  個位元，所有陪集亦可將空間中  $2^n$  個向量分割成  $2^{n-k}$  個區域，每一個區域為一個陪集中的向量分布在其中所形成的集合，亦是每一個標準陣列的每一列或可稱為一個分群 (Bin)。如

圖 4-3 所示。

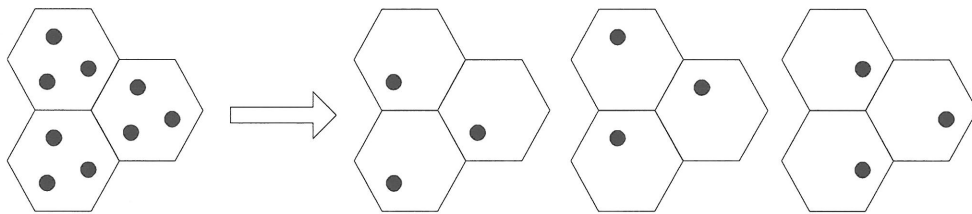


圖 4-3 每一個陪集表示  $m$  個位元的藏匿

相同的當一個具有  $n$  個位元的向量  $h$  在陪集空間時，我們可以計算出其徵狀  $s_h$ ，而所要藏匿的符號為  $s_l$ ，但我們必需找到  $s_h$  與  $s_l$  之間的差別向量  $s_x$ ，在此陪集內找到  $h$  與  $l$  最小的差異向量  $x$ 。再將此向量加上  $h$  即形成藏匿向量  $l'$ 。

## 4.2 線性區塊藏匿碼

一般二值影像或二元影像的藏匿方法有許多方式。在此我們所利用的方法是使用線性區塊碼的觀點來當成二元資料的影像藏匿的方式，又可稱為線性區塊藏匿碼 (Linear Block Embedded Code, LBEC)。首先我們先介紹何謂線性區塊碼。之後再描述線性區塊碼與二元藏匿之間的關係為何。一個  $(n,k)$  線性區塊碼  $C$  可以利用同位查核矩陣  $H$  描述成

$$C = \{h \mid Hh = 0\} \quad (4-1)$$

其中  $h$  為任意  $n$  個位元的二元向量。我們可以定義當  $Hh$  結果不為零時的結果稱為  $h$  的徵狀 (syndrome)

$$s = Hh \quad (4-2)$$

另外相同徵狀的  $h$  所成的集合我們稱為碼  $C$  的陪集，定義為

$$C_s = \{h \mid Hh = s\} \quad (4-3)$$

現在我們假設  $f(\cdot)$  是一個線性區塊碼的解碼函數與  $v$  是陪集領項 *coset leader*。任意向量  $h$  可以利用  $H$  求得  $s$ ，我們可以利用最大似然解碼 (ML decoding) 解碼函數可表示成

$$v = f(Hh) = f(s) \quad (4-4)$$

ML 解碼解得陪集領項  $v$  並加上  $h$  而解回最靠近  $h$  的字碼  $C$ 。

因此我們也可以說只要具有同位查核矩陣  $H$ ，則可以利用標準陣列描述一個線性碼的解碼過程。

假設現在有一二元資料的藏匿程序如下。一個藏匿符號向量為  $l$ ，其中  $l$  存在於碼  $C$  的陪集  $C^l$  中，也因此我們可以求得  $l$  的徵狀為  $m$  個位元的  $s_l$ ，其中  $m = n - k$ ，我們現在有一個目標即是求得兩向量  $h$  與  $l$  相加後在  $C^x$  中的最小權重向量，因此可表示成

$$v = \arg \min_{x \in C^x} w_H(l + h) = \arg \min_{x \in C^x} w_H(x) \quad (4-5)$$

上式中的  $v$  可介由線性碼的解碼方法完成可表示為

$$v = f(s_x) = f(Hx) \quad (4-6)$$

當  $v$  得到後可以簡單的形成

$$l' = h + v \quad (4-7)$$

上式  $l'$  是在  $F_2^n$  空間中最接近  $h$  且具有徵狀為  $s_l$  的向量。因此可以得到與原影像最少的失真度與同時保持藏匿符號  $s_l$ 。在此我們把上述程序表示為四個步驟：

1. 找到  $h$  向量並求其徵狀  $s_h$ 。
2. 將  $s_h$  與藏匿符號  $s_l$  相加得到  $s_x$ 。
3. 利用標準陣列找到  $s_x$  中最小的權重，即為陪集領項  $v$ 。
4. 將  $v$  與  $h$  相加得到  $l'$ 。

我們把上述過程利用標準陣列圖示圖 4-4。

雖然我們知道求得  $v$  即可以得到最佳的藏匿向量  $l'$ ，但是當  $(n, k)$  線性碼很大時，ML 解碼並不可行，因此要找到  $v$  就是一個困難的問題。

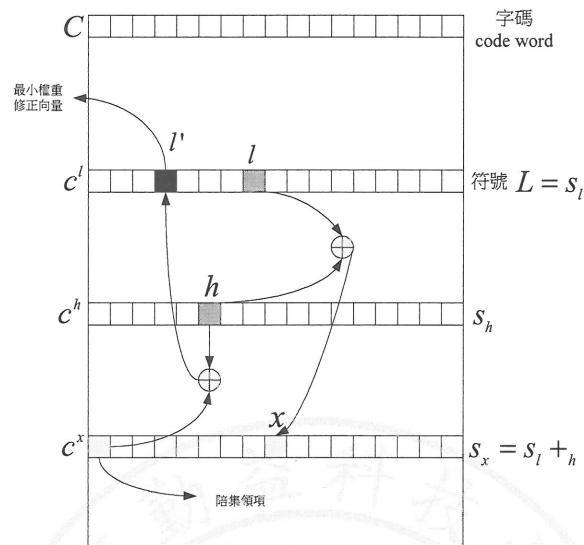


圖 4-4 藏匿步驟示意圖

我們利用漢明碼做個例子來說明。由於漢明碼為線性區塊碼中的一種，因此我們利用其中的 (7,4) 漢明碼方法進行二元藏匿，我們可以知道一個  $(n,k)$  線性碼可以利用  $H$  描述，而 (7,4) 漢明碼之  $H$  如下：

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (4-8)$$

現在假設有一個載體影像的額外資訊為  $h = (1111110)$ ，現在欲將符號  $s_l = (111)$  藏入，我們簡單的將上述步驟整理如下：

1. 截取 7 個位元的  $h = (1111110)$ ，並求其三個位元的徵狀



$$s_h = (101)。$$

2. 將  $s_h = (101)$  與  $s_l = (111)$  相加等於  $s_x = (010)$ 。
3.  $s_x$  所對應的陪集領項為  $v = (0100000)$ 。
4.  $l' = v + h = (1011110)$ 。

當要取出藏入的符號只需擷取出  $l' = (1011110)$  並與  $H$  相乘可得藏入之符號  $s_l = (111)$ 。

### 4.3 LBEC 藏匿應用

本論文提出兩種應用 LBEC 之藏匿技術，一種為結合 DHSPT 技術之藏匿方式，另一種為根據半色調影像特性結合 LBEC 之藏匿方式又稱為 Pair LBEC。首先說明第一種藏匿方式，圖 4-5 描述了 LBEC 結合 DHSPT 技術之藏匿方式，其藏匿過程描述如下：

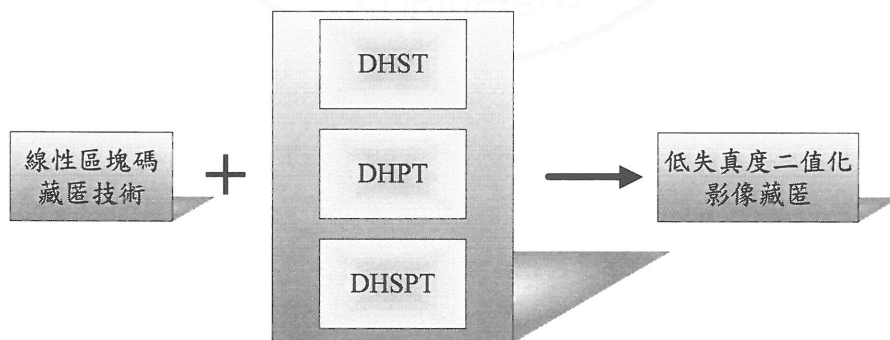


圖 4-5 LBEC 結合 DHSPT 技術之藏匿方式示意圖

當 DHSPT 藏匿時會先計算原始半色調影像上所有像素之間的關聯性，再選取藏匿時所需要的區塊，將選到的區塊依照選取順序將區塊中主要像素取出，如圖 4-6 所示。取出之主要像素以  $n$  個為一組，每一組使用 LBEC 將預藏入之  $n-k$  個位元藏入，藏入後可得知每一組需要修改那些像素才可將欲藏入之位元藏入，這些所需修改像素可對應原始半色調影像上選取藏匿時的區塊。利用 DHSPT 對這些區塊使主要像素與周圍像素交換完成整個藏匿。

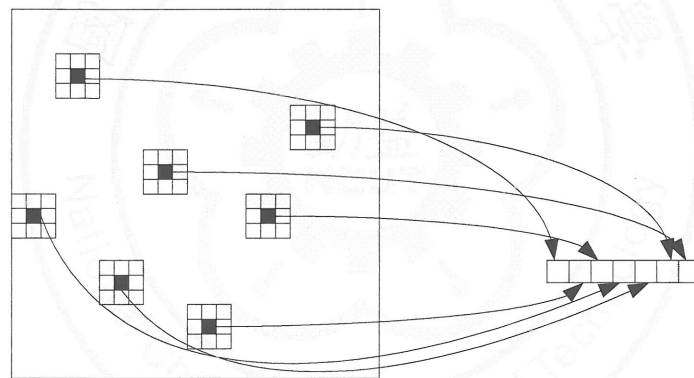


圖 4-6 像素取出示意圖

我們以  $(7,4)$  漢明碼為例來說明，現在假設有一個載體影像從中隨機選取 7 個  $3 \times 3$  不重疊區塊，其中區塊裡主要像素所組成的額外資訊為  $h = (1111110)$ ，現在欲將符號  $s_i = (111)$  藏入，我們簡單的將上述步驟整理如下。

1. 截取 7 個位元的  $h=(1111110)$ ，並求其三個位元的徵狀  $s_h=(101)$ 。
2. 將  $s_h=(101)$  與  $s_l=(111)$  相加等於  $s_x=(010)$ 。
3.  $s_x$  所對應的陪集領項為  $v=(0100000)$ 。
4. 由於  $l'=v+h=(1011110)$ ，因此可得知  $h$  中第二個位元需要被修改，對應回載體影像上找出其對應的區塊為何並執行 DHSPT。

當要取出藏入的符號只需擷取出  $l'=(1011110)$  並與  $H$  相乘可得藏入之符號  $s_l=(111)$ 。

由於此方法是以載體影像隨機選取  $3 \times 3$  不重疊區塊取其主要像素組成額外資訊藏匿，因此 DHPT 和最初的 DHST 也可以使用此方法進行藏匿。但此方式有些缺點，當 DHSPT 藏匿時為了保持半色調中藏匿位置附近區域的黑色點濃度不變，因此藏匿前會先將載體影像分成  $3 \times 3$  不重疊區塊取其主要像素藏匿，使得整張影像全部藏匿時最大總容量為整張影像總像素值的  $1/9$ ，再加上 LBEC 後可藏匿之最大總量又更加減少為整張影像總像素值之  $(1/9) \times ((n-k)n)$ 。因此為了使得整張影像所有像素值都可以最大限度利用在藏匿中又不破壞



(1) 將  $x$  的漢明權重由小到大排序。

(2) 尋找的向量  $x$  中 1 所在位置對應於  $h$  中相同位置的像素值，其中 0 與 1 的數量需相等。

4. 將  $h$  與  $x'$  相加得到  $l'$ 。

5. 在接收端接收到  $l'$  訊號時我們利用  $H$  將  $s_i$  回復。

此方法藏匿時每個所選取之區塊內元素皆為藏匿載體，且每一區塊皆可藏匿  $n-k$  個位元，對於整張影像可藏匿之最大容量為整張影像總像素值之  $(n-k)/n$ 。

## 第五章 實驗結果

實驗中我們使用六張大小為  $512 \times 512$  之半色調影像，分別為 Lena、Baboon、Barb、Boat、Goldhill、Peppers 這六張圖。半色調技術分別使用第二章所提之錯誤擴散技術、群聚式點陣調色、分散式點陣調色，並對於每種影像執行 DHST、DHPT、DHSPT、BOPC、PLBEC 與 DHSPT 加入 LBEC 後之方法，實驗中所使用為 (7,4) 線性區塊碼對其藏匿後影像進行評估，評估方式使用 MPSNR 與 SSIM。圖 5-1 圖 5-2 展示出在相同藏匿容量下，DHSPT 加入 LBEC 可以有效降低藏匿後影像失真，至於 PLBEC 在藏匿後 MPSNR 雖然比 DHPT 低，但是更著重於可藏入大量資料量。圖 5-3 圖 5-4 展示 Goldhill 使用不同藏匿技術與不同線性區塊碼之影像結果，其中圖 5-3 皆藏入 4096 位元，圖 5-4 則是 PLBEC 使用不同線性區塊碼藏入 49152 位元所得之影像，圖中可發現 (16,13) 線性區塊碼所得影像產生黑白像素群集比 (16,8) 少。由表 5-1 到表 5-6 可看出 PLBEC 藏入 4096 位元後所得 MPSNR 也比 DHST 高。

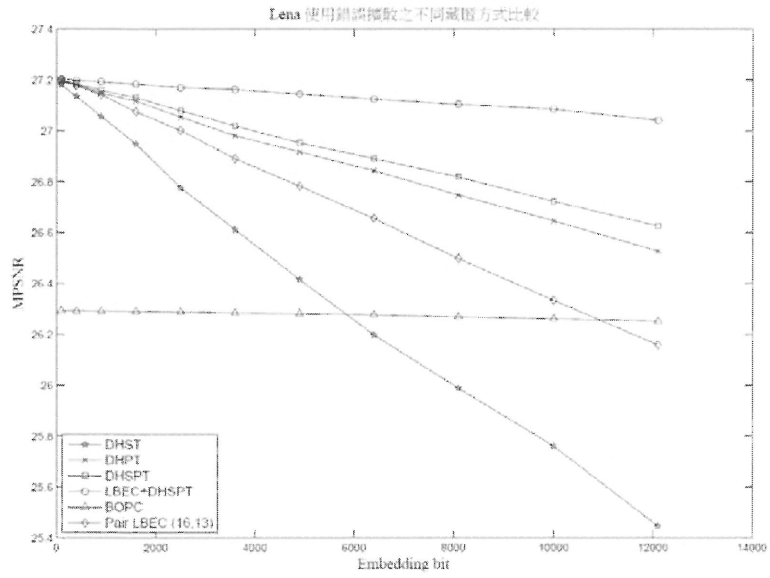


圖 5-1 Lena 不同藏匿方式 MPSNR 比較

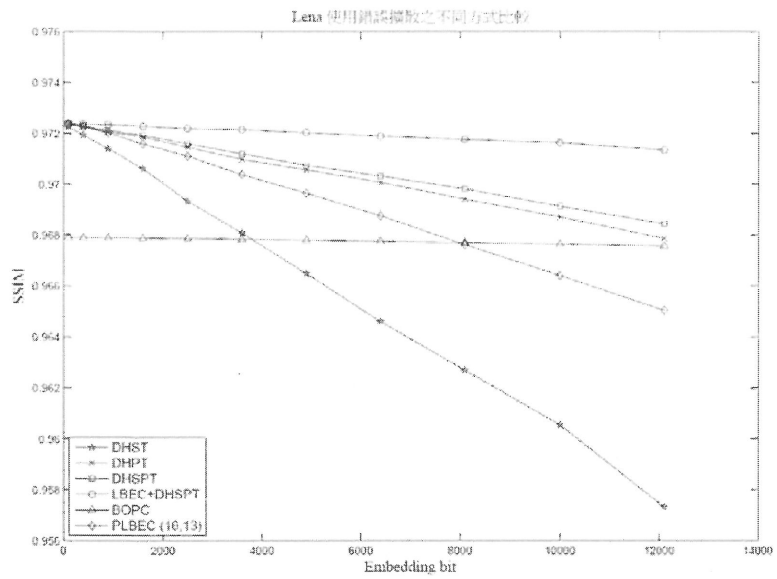


圖 5-2 Lena 不同藏匿方式 SSIM 比較

圖 5-3 Goldhill 錯誤擴散圖藏入 4096 位元







	
Goldhill 未藏匿	使用 DHST
	
使用 DHPT	使用 DHSPT
	
使用 BOPC	使用 LBEC+DHSPT



圖 5-4 Goldhill 錯誤擴散圖使用不同線性區塊碼藏入 49152 位元







	
使用(16,8)	使用(16,9)
	
使用(16,10)	使用(16,11)
	
使用(16,12)	使用(16,13)

表 五-1 使用錯誤擴散之 MPSNR 影像評估結果

	DHST	DHPT	DHSPT	LBEC+DHSPT	BOPC	PLBEC (16,13)
Lena	26.53	26.96	26.99	27.08	26.83	26.95
Boboon	20.69	20.80	20.81	20.83	20.77	20.81
Barb	22.39	22.55	22.58	22.60	22.50	22.54
Boat	25.10	25.41	25.43	25.50	25.34	25.39
Goldhill	25.75	26.12	26.13	26.20	25.99	26.09
Peppers	26.31	26.71	26.75	26.84	26.62	26.67

表 五-2 使用群聚式點陣調色之 MPSNR 影像評估結果

	DHST	DHPT	DHSPT	LBEC+DHSPT	BOPC	PLBEC (16,13)
Lena	26.69	26.97	26.93	27.10	26.97	26.95
Boboon	20.33	20.41	20.40	20.42	20.39	20.40
Barb	22.38	22.49	22.47	22.52	22.47	22.48
Boat	24.98	25.17	25.16	25.29	25.19	25.19
Goldhill	25.70	25.94	25.91	26.03	25.95	25.94
Peppers	26.13	26.37	26.36	26.50	26.38	26.35

表 五-3 使用分散式點陣調色之 MPSNR 影像評估結果

	DHST	DHPT	DHSPT	LBEC+DHSPT	BOPC	PLBEC (16,13)
Lena	24.42	24.78	24.71	24.74	24.57	24.67
Boboon	29.95	20.06	20.04	20.05	19.99	20.02
Barb	21.46	21.62	21.61	21.61	21.52	21.58
Boat	23.21	23.46	23.42	23.42	23.31	23.38
Goldhill	23.88	24.19	24.15	24.17	24.00	24.12
Peppers	23.98	24.30	24.26	24.28	24.11	24.18

表 五-4 使用錯誤擴散之 SSIM 影像評估結果

	DHST	DHPT	DHSPT	LBEC+DHSPT	BOPC	PLBEC (16,13)
Lena	0.9674	0.9709	0.971	0.9716	0.9698	0.9708
Boboon	0.8188	0.8249	0.8247	0.8258	0.8228	0.8251
Barb	0.9099	0.914	0.9144	0.9148	0.9124	0.9138
Boat	0.9616	0.9647	0.9648	0.9654	0.9639	0.9645
Goldhill	0.9633	0.9666	0.9667	0.9672	0.9654	0.9664
Peppers	0.9762	0.9785	0.9787	0.9792	0.9780	0.9783

表 五-5 使用群聚式點陣調色之 SSIM 影像評估結果

	DHST	DHPT	DHSPT	LBEC+DHSPT	BOPC	PLBEC (16,13)
Lena	0.9684	0.9706	0.9704	0.9705	0.9706	0.9706
Boboon	0.8003	0.8088	0.8084	0.8095	0.8077	0.8087
Barb	0.9094	0.9122	0.9119	0.913	0.9117	0.9124
Boat	0.9604	0.9624	0.9623	0.9634	0.9624	0.9626
Goldhill	0.9626	0.9648	0.9646	0.9656	0.9649	0.965
Peppers	0.9751	0.9767	0.9766	0.9774	0.9767	0.9766

表 五-6 使用分散式點陣調色之 SSIM 影像評估結果

	DHST	DHPT	DHSPT	LBEC+DHSPT	BOPC	PLBEC (16,13)
Lena	0.9478	0.9524	0.9517	0.952	0.9498	0.9514
Boboon	0.7908	0.7978	0.7967	0.7971	0.7944	0.7965
Barb	0.8903	0.8953	0.895	0.8951	0.8925	0.8946
Boat	0.9416	0.9454	0.9448	0.945	0.9432	0.9445
Goldhill	0.9442	0.9486	0.9481	0.9484	0.9461	0.9479
Peppers	0.9594	0.9626	0.9623	0.9625	0.9609	0.9617

## 第六章 結論

2002 年 O.C.Au 在論文中提出了有效降低二值化藏匿後影像失真之方法，稱為 DHSPT。在此本論文提出了 DHSPT+LBEC 演算法。加入 LBEC 演算法可進一步改善 O.C.Au 所提出的 DHSPT 之演算法失真度。其中 LBEC 演算法的優點為：1.適用於各種線性區塊碼，2.有效改善二值藏匿之失真，3.沒有複雜的嵌入運算。一般 DHSPT 所修改位元約為藏匿位元數之一半，但 LBEC 演算法利用編碼技術可持續將修改位元數降低。而本論文所提出的另一藏匿演算法 Pair LBEC 可將大量秘密資訊藏匿在載體上，而對二值化影像不具有太大失真。

## 參考文獻

- [1] F. Bartolini, A. Tefas, M. Barni, and I. Pitas, "Image authentication techniques for surveillance applications," *Proc. IEEE*, vol. 89, no. 10, pp. 1403-1418, Oct. 2001.
- [2] E. Martinian and G. W. Wornell, "Authentication with distortion constraints," in *Proc. IEEE Int. Conf. Image Processing*, pp. 17-20, 2002.
- [3] M. H. M. Costa, "Writing on dirty paper," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 29, pp. 439-441, 1993.
- [4] Y. Sun, Y. Yang, A. D. Liveris, V. Stankovic, and Z. Xiong, "Near-capacity dirty-paper code design: a source-channel coding approach," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 55, no. 7, pp. 3013-3031, Jul. 2009.
- [5] R. Barron, B. Chen, and G. W. Wornell, "The duality between informatino embedding and source coding with side informatino and some applicaitons," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 49, no. 5, pp. 1159-1180, May 2003.
- [6] S. S. Pradhan, J. Chou, and K. Ramchandran, "Duality between source coding and channel coding and its extension to the side information case," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 49, no. 5, pp. 1181-1203, May 2003.
- [7] R. Zamir, S. Shamai, and U. Erez, "Nested linear/lattice codes for structured multiterminal binning," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 48, no. 6, pp. 1250-1276, Jun. 2002.
- [8] M. J. Wainwright, "Sparse graph codes for side information and binning," *IEEE Signal Processing Mag.*, vol. 24, no. 5, pp. 47-57, Sep. 2007.
- [9] M. L. Miller, I. J. Cox, and J. A. Bloom, "Informed embedding: exploiting image and detector information during watermark insertion," in *IEEE Int. Conf. on Image Processing*, Sep. 2000.
- [10] M. L. Miller, G. J. Doerr, and I. J. Cox, "Applying informed coding and

- embedding to design a robust high-capacity watermark,” *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 13, no. 6, pp. 792-807, Jun. 2004.
- [11] M.S.Fu, O.C. Au, “Data Hiding in Halftone Image by Pixel Toggling,” to appear in *Proc. Of SPIE Conf: On Image and Video Communications and processing*, San Jose, Jan 2000.
- [12] M.S. Sun, O.C. Au, “Data Hiding by Smart Pair Toggling for Halftone Images ,” *Proc. Of IEEE Int. Conf. On Acoustics, Speech and Signal Processing*, Vol. 4, pp. 23 18- 232 1, Jun. 2000.
- [13] M.S. Sun, O.C. Au, “Data Hiding Watermarking for Halftone Image,” *IEEE Trans. Image Processing*, Vol. 11, No. 4, April 2002.
- [14] M. S. Fu and O.C. Au, “Data hiding in halftone images by stochastic error diffusion,” *Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2001. Proceedings. (ICASSP '01). 2001 IEEE International Conference on* Vol. 3, 7-11 May 2001, pp.1965 – 1968.
- [15] R. Y. Li and O. C. Au , “Halftone Image Data Hiding with Block-Overlapping Parity Check,” *ICASSP 2007. IEEE International Conference*, Vol. 2, April 2007, pp.193-196.
- [16] 盧彥瑋，基於類神經網路的半色調與連續調之轉換技術與壓縮，國立成功大學 中華民國 92 年 7 月。
- [17] 鄭仰傑，半色調影像品質評估，世新大學 中華民國 97 年 7 月。
- [18] 蕭佩琪 王希俊 連啟明，文件底紋之混和網點數位浮水印技術，  
<http://datf.iis.sinica.edu.tw/Papers/2004datfpapers/4/4.pdf>
- [19] <http://gc.shu.edu.tw/~taoi/research/publications/HT.doc>

## 作者簡歷

姓名： 洪位億(Wei-Yi Hung)

出生日期：民國七十六年六月一十五日

籍貫：屏東縣

主要學歷：

國立勤益科技大學 資訊工程系研究所 (98.9~100.6)

國立屏東商業技術學院 資訊工程系 (94.9~98.6)

論文發表：

- [1] 洪位億、林基源、王俊傑、陳怡芳、林晏羽， “使用漢明編碼改善半色調影像失真度之 DHSPT 資料隱藏技術” ， 第五屆 智慧生活科技研討會， pp. 1537-1541, June 2010.
- [2] Wei-Yi Hung, Chi-Yuan Lin, Jyun-Jie Wang, and Pei-Chi Kuo, “A novel secret sharing scheme using forward error correction codes for halftone image,” *National Conference on Web Intelligence and Applications Conference*, Vol. 1, pp. 545-551, Apr. 2011