

可逆式對照映像隱藏機制之失真控制方法

呂慈純
朝陽科技大學
tclu@cyut.edu.tw

黃英軒
朝陽科技大學
s9614602@cyut.edu.tw

摘要

可逆式浮水印技術是將機密資訊透過藏入的演算法，嵌入於多媒體中，欲取出機密資訊時，藉由萃取演算法抽取出所藏入的機密資訊，且百分之百的還原掩蔽圖像。Coltuc 等學者提出一個可逆式對照映像隱藏技術，他們的方法無須利用壓縮等技術達到無失真效果，是一個簡單有效率的方法。然而，他們的技術無法有效控制資訊隱藏的位置，達到失真控制的目地。因此，本研究擬針對 Coltuc 等學者所提演算法進行改進，我們運用 Kamstra 等學者所提出的小波技術與排序技術作為影像失真程度控制。從實驗結果顯示，在資訊藏入量不高時，所提方法之影像品質比 Coltuc 等學者來的好。

關鍵詞：可逆式浮水印、可逆式對照映像、小波技術、失真控制。

Abstract

The technique of reversible information hiding is to embed secret information in multi-media. After extraction, the concealed information can be extracted and the original host media can be totally recovered. Coltuc et al. developed a reversible hiding scheme based on contrast mapping (RCM). Their scheme does not need a location map to recover the host image. However, their scheme can not fully control the position where information is embedded such that the quality of the stego image is poor. Therefore, this paper proposed an enhancing hiding scheme based on Kamstra et al.'s distortion control technique to improve Coltuc et al.'s algorithm. The experimental results show that the image quality of the proposed scheme is better than that of Coltuc et al.'s.

Keywords: Reversible information hiding, reversible contrast mapping, Wavelet, distortion control

1. 前言

可逆式浮水印 (Reversible Watermarking)，是將機密資訊嵌入數位媒介中，如圖像、影片、文字、語音等，使他人無法察覺有異，達到秘密通訊與還原掩蔽影像的目的。除此之外，還可以應用於影像認證 (Image Authentication)、著作權保護 (Ownership Protection)、存取權控制 (Access Control)、中間資料 (Metadata) 嵌入，以及註解 (Annotation) 等 [1]。

近年來，已有許多可逆式浮水印技術被提出，例如利用壓縮方法 [3, 5, 7] 額外嵌入復原圖像所需要的資訊，其實驗結果證明藏入量與機密影像品質是相當不錯的。然而，這一類的方法，演算法相當複雜。

第二類的可逆式浮水印技術 [4, 8]，將圖像利用滑動視窗 (Sliding Window) 切割成許多區塊，計算影像區塊中心點的像素值與周圍鄰近像素值的關係，經由統計分析，給予一個適合的門檻值，使藏入後像素值的範圍介於 0 至 255 之間。最後，將機密資訊藏入影像。此方法，不需透過壓縮技術即可將機密資訊藏入掩蔽影像，影像品質相當不錯。但是，這個方法受到門檻值的因素，導致藏入的資訊量比較低。

第三類的可逆式浮水印技術為 2007 年 Coltuc 等學者 [2] 提出可逆式對照映像 (Reversible Contrast Mapping, RCM) 技術，其將影像中的二個相鄰的像素值分為一組，分析每組的像素值為奇數或偶數，再依不同的方式嵌入資訊，避免像素值有上溢 (Overflow) 或下溢 (Underflow) 的問題。這個方法，不需複雜的演算法，但是，在藏入的機密資訊數量相同時，影像品質比起其他二類方法差。

為了有效控制 RCM 的失真程度，本論文提出一改良機制，在相同的資訊負載量下，使得影像品質比 Coltuc 等學者所提方法好。不僅如此，本研究所提出來的方法結合 Kamstra 等學者所提出的小波技術排序法，在藏入的機密資訊量較小時，影像品質能夠更高。

2. 可逆式浮水印

Coltuc 等學者[2]所提技術之可逆式浮水印技術包含機密資訊藏入與機密資訊萃取兩步驟，其藏入的步驟如下：

步驟 1：將掩蔽影像切割為數個 2×1 區塊，即 $B_i = (X, Y)$ 。

步驟 2：給予一個適當的門檻值 δ ，若 $|X - Y| = \delta$ ，則影像區塊 (X, Y) 不藏入任何機密資訊。

步驟 3：將每個 (X, Y) 代入公式

$$\hat{X} = 2X - Y, \hat{Y} = 2Y - X, \quad (1)$$

檢查 $(\hat{X}, \hat{Y})$ 像素值是否均在 0 至 255 的區間 (X, Y) 內。

步驟 4：辨識 (X, Y) 像素值為奇數或偶數，再由下列三種的方法嵌入：

- (1) 若影像區塊 (X, Y) 像素值皆為奇數，且 $(\hat{X}, \hat{Y})$ 像素值沒有溢出或下溢的問題，則將 X 的最不重要位元 (Least Significant Bit, LSB) 取代為 0，再將機密資訊藏入 Y 的 LSB。
- (2) 若影像區塊 (X, Y) 像素值有一個偶數，且 $(\hat{X}, \hat{Y})$ 像素值沒有溢出或下溢的問題，則 (X, Y) 透過公式(1)轉換為 $(\hat{X}, \hat{Y})$ ，並將 $\hat{X}$ 的 LSB 取代為 1，最後，將機密資訊藏入 $\hat{Y}$ 的最不重要位元，得到偽裝像素 (X', Y') 。
- (3) 若影像區塊 $(\hat{X}, \hat{Y})$ 像素值大於 255 或小於 0 或差值大於門檻值時，則紀錄 X 的 LSB，再將 X 的 LSB 取代為 0。

以下我們舉例說明，圖 1(a)表示一張影像，我們將門檻值設定為 255，要藏入的機密資訊為 $S = (01)_2$ 。首先取出二個相鄰的像素值 $B_1 = (X, Y)$ 為 $(8, 10)$ ，用公式可得 $(\hat{X}, \hat{Y}) = (6, 12)$ ，因為二個像素至少有一個為偶數，所以以第(2)種方式藏入得到 $(X', Y') = (7, 12)$ 。

$B_2 = (13, 15)$ ，且我們想要藏入的機密訊息為 $(1)_2$ ，因此，利用步驟 4 的第(1)種方法藏入，得到偽裝影像像素值 $(X', Y') = (12, 15)$ 。接下來，我們發現在 $B_4 = (5, 11)$ ，經過公式(1)轉換後，會產生下溢的問題，因此，我們取出 X 的 LSB，紀錄在區塊 B_3 。在經過上述計算

後，我們可以得到一張偽裝影像，如圖 1(b)。

8	10	13	15
8	10	5	11

(a)掩蔽影像

7	12	12	15
7	13	4	11

(b)偽裝影像

圖 1 藏入實例

當收方接收到偽裝影像時利用取出和復原程序進行分析過程如下：

步驟 1：將掩蔽影像切割為數個 2×1 區塊，即 $B_i = (X', Y')$ 。

步驟 2：辨識像素值 X' 為奇數或偶數，再由下列三種的方法取出資訊：

- (1) 若 X' 為奇數時，取出 Y' 的 LSB，即為我們所藏入的資訊。為了回復影像將 X' 與 Y' 的 LSB 取代為 0，再利用公式

$$X = \left\lceil \frac{2}{3} X' + \frac{1}{3} Y' \right\rceil, Y = \left\lceil \frac{1}{3} X' + \frac{2}{3} Y' \right\rceil, \quad (2)$$

還原掩蔽圖像。

- (2) 若 X' 為偶數時，將 (X', Y') 像素值的 LSB 暫時取代為 1，再代入公式(1)計算，假使沒有溢出或下溢或差值大於門檻值的問題，我們得知這個區塊有藏入機密資訊在 Y' 的 LSB，再將 X' 與 Y' 的 LSB 取代為 1，以回復掩護影像。
- (3) 若 X' 為偶數時，將 (X', Y') 像素值的 LSB 暫時取代為 1，再代入公式(1)計算，產生溢出或下溢或差值大於門檻值的問題，則這個區塊沒有藏入機密資訊。為了還原掩護影像，我們利用之前紀錄 X 的 LSB 值取代 X' 的 LSB。

以下我們舉例說明，當接收方收到一張偽裝影像時，如圖 2(a)，我們取出二個相鄰的像素值 $B_1 = (X', Y')$ 為 $(7, 12)$ ，其中 X' 為奇數利用步驟 2 的第一種技術來取出機密資訊，經過計算後，我們得到機密資訊 $(0)_2$ ，且回復掩蔽影像像素值為 $(X, Y) = (8, 10)$ 。

接著，審視第二個影像區塊 $B_2 = (12, 15)$ ，其中 X' 為偶數利用步驟 2 的第二種技術取出機密資訊，取出 Y' 的 LSB，即為我們藏入的機密資訊，為了回復掩蔽影像，我們將 X' 與 Y' 的 LSB 取代為 1，得到掩護影像像素值為 $(X, Y) = (13, 15)$ 。最後，影像區塊 $B_4 = (4, 11)$ ， X' 為偶數，但 B_4 會有溢位問題，因此，利用步驟 2 的第三種技術分析，我們從 $B_3 = (7, 13)$ 取出 B_4 區塊中的最不重要位元，用來取代偽裝影像中 X 的最不重要位元，以回

復原始影像。

7	12	12	15
7	13	4	11

(a)偽裝影像

(b)掩蔽影像

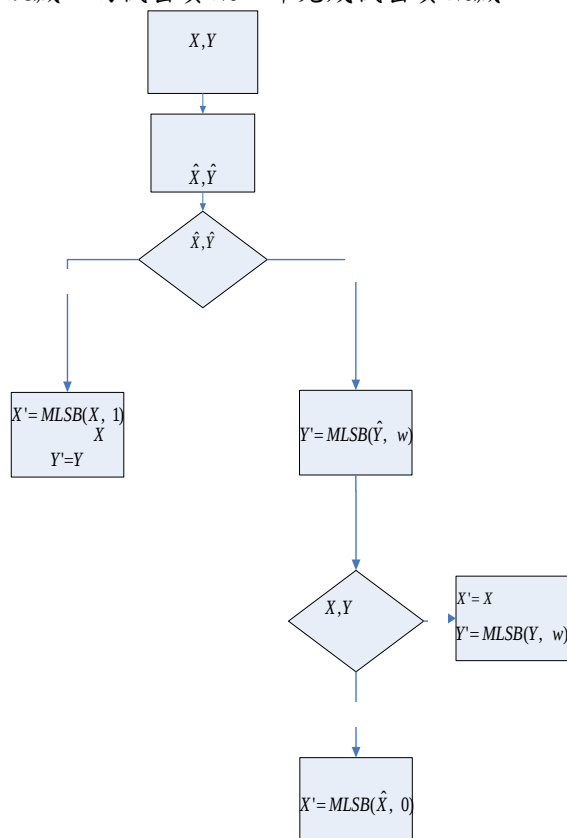
圖 2 取出與還原影像實例

3. 失真控制機制

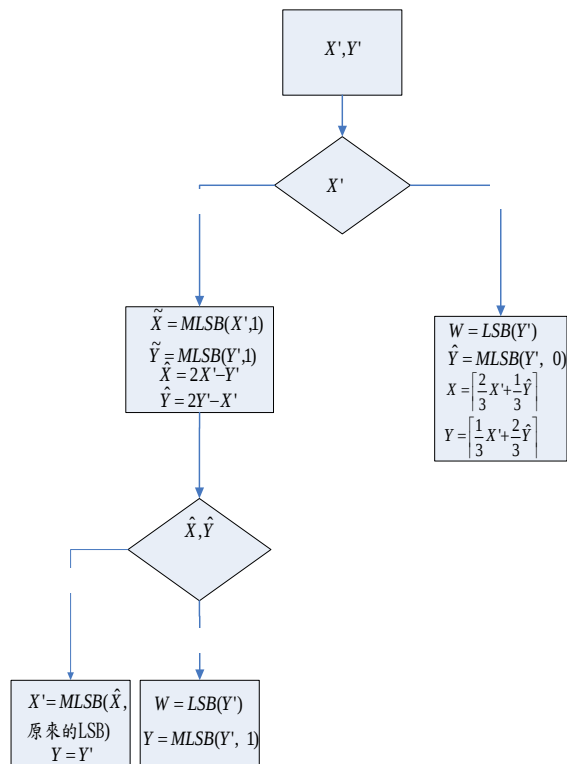
Coltuc 等學者的方法可以達到可逆資訊隱藏的目的地，然而卻無法有效的安排資訊藏入的位置，因此，本論文提出一改良方法，能夠讓偽裝影像的失真控制在一定的範圍內。

如圖 3(a)所示。所提之資訊隱藏流程圖。首先，我們從掩蔽影像取出 2×1 的區塊，即 $B_i = (X, Y)$ ，接下來，將 (X, Y) 代入公式(1)計算，若 $(\hat{X}, \hat{Y})$ 有溢出或下溢問題，則修改 X 的 LSB 為 1 並紀錄 X 的 LSB，以及 Y 不藏入任何機密資訊。

若 (X, Y) 代入公式(1)轉換後， $(\hat{X}, \hat{Y})$ 像素值範圍介於 0 至 255，且 X 或 Y 中任何一個像素為偶數時，我們將欲藏入的機密資訊嵌入中，並將 $\hat{X}$ 的 LSB 修改為 0；若 X 或 Y 皆為奇數時，將 Y 值中的最不重要位元，嵌入我們欲藏入的機密資訊，即完成機密資訊藏入。



(a)藏入流程



(b)取密與還原流程

圖 3 所提方法之流程圖

當收方收到機密圖像時，則利用圖 3(b) 流程進行取密與還原，以取出機密資訊和復原掩蔽影像，其中 $\text{MLSB}(x, y)$ 函式為將 x 的 LSB 更改為 y 。流程詳敘如下：

步驟 1：首先從掩蔽影像取出 2×1 的區塊，即 $B_i = (X', Y')$ 。

步驟 2：鑑別 X' 為奇數或偶數，若為奇數，將 (X', Y') 像素值的 LSB 暫時取代為 1，再代入公式(1)計算，若像素值有溢出或下溢的問題，我們利用之前保留的 X 最不重要位元，來修復 X' 的像素值；假使沒有溢出或下溢的問題， Y' 的最不重要位元，即為我們藏入的資訊，為了還原 Y 值，我們將 Y' 值代入 1；若 X' 為偶數，我們取出藏入在 Y' 值最不重要位元的機密資訊，並將 Y' 的 LSB 取代為 0。最後，代入公式

$$X = \left\lceil \frac{2}{3} X' + \frac{1}{3} \hat{Y} \right\rceil, Y = \left\lceil \frac{1}{3} X' + \frac{2}{3} \hat{Y} \right\rceil, \quad (3)$$

計算後，即完成了還原圖像。

為了進一步控制影像失真的程度，我們應用 2005 年 Kamstra 等學者[6]提出之小波技術和排序的方法，進行失真控制。首先，將掩蔽

影像像素值量化

$$\hat{P} = Q \times \left\lfloor \frac{P}{Q} \right\rfloor, \quad (4)$$

其中 Q 為量化值和 P 為像素值，經計算後，我們得到一張量化後的圖像，接著，將量化後圖像切割為數個 2×2 的區塊，即稱為 B_i ，且計算每個區塊的平均值。之後，以 2×2 的滑動視窗在 B_i 的平均值上面移動，計算變異數 (Var)，再依變異數由小到大做排序，利用變異數排序的結果，於每個序列可對應到掩蔽影像的四個像素值中，藏入機密資訊。

以下我們舉個例子說明，圖 4(a) 為掩蔽影像，我們先將掩蔽影像像素值以量化值 2 做量化，可得到一張量化後的圖像，如圖 4(b)，之後，將量化後的圖像取出 2×2 的區塊 $B_i = \{10, 12, 12, 4\}$ ，如圖 4(c)，計算區塊的平均值，圖 4(d) 為每個區塊平均值。接著，我們利用 2×2 的滑動視窗在 B_i 的平均值上移動，計算變異數，結果如圖 4(e) B_i 區塊變異數，即稱為 V_i ，之後，將 V_i 由小到大排序，如圖 4(f) 可以得知在 V_i 區塊中 V_1 區塊變異數最小，因此，由 V_1 所對應掩蔽圖像區塊 $\{11, 12, 12, 5\}$ ，優先嵌入秘密資訊，接著藏入 V_2 對應的區塊，以此類推。

當收方接收到一張偽裝影像時，首先將偽裝影像像素值量化

$$\hat{P}' = Q \times \left\lfloor \frac{P'}{Q} \right\rfloor, \quad (5)$$

經計算後，我們得到一張量化後的圖像，將量化後圖像切割為數個 2×2 的區塊，即稱為 B'_i ，且計算每個區塊的平均值。之後，以 2×2 的滑動視窗在 B'_i 的平均值上面移動，計算變異數，再依變異數由小到大做排序，利用變異數排序的結果，排序結果小的先取出，從 2×2 區塊取出機密資訊並還原圖像，取出的步驟與 Coltuc 等學者的方式相同。

11	12	8	12	3	14	20	7
12	5	12	15	16	22	21	29
8	12	8	12	22	27	5	9
12	5	12	5	28	7	4	31
43	22	16	32	4	1	8	9
35	32	13	23	35	9	3	10
20	24	34	55	31	17	32	8
9	42	13	7	11	20	10	30

(a) 掩蔽影像

10	12	8	12	2	14	20	6
12	4	12	14	16	22	20	28
8	12	8	12	22	26	4	8
12	4	12	4	28	6	4	30
42	22	16	32	4	0	8	8
34	32	12	22	34	8	2	10
20	24	34	54	30	16	32	8
8	42	12	6	10	20	10	30

(b) 量化後圖像

10	12
12	4

9.5	11.5	13.5	18.5
9	9	20.5	11.5
32.5	20.5	11.5	7
23.5	26.5	19	20

(c) 2×2 影像區塊

(d) 區塊平均值

1.416	24.395	17.666
126.083	36.062	32.062
26.25	38.062	38.562

1	3	2
9	6	5
4	7	8

(e) 區塊變異數

(f) 排序結果

圖 4 實例圖形

4. 實驗結果

我們以四種不同策略進行實驗，第一種策略為 Coltuc 等學者所提出來的的方法，即為 C，第二是本研究提出的改善 Coltuc 等學者的方法為 IC，第三種是 Coltuc 等學者所提出來的的方法結合小波技術和排序的方法，即為 CK，最後，則為我們提出來的的方法結合 Kamstra 等學者所提出的小波技術和排序的技術，即稱為 ICK。

在第一種策略與第二種策略，我們設定門檻值做為影像失真控制，也針對第三和四種策略進行資訊量控制，評估在相同機密資訊量

下，影像品質的優劣。

本研究測試圖像為 512×512 灰階影像，如圖 5。藏入的機密訊息為隨機產生的二值(Binary)序列。

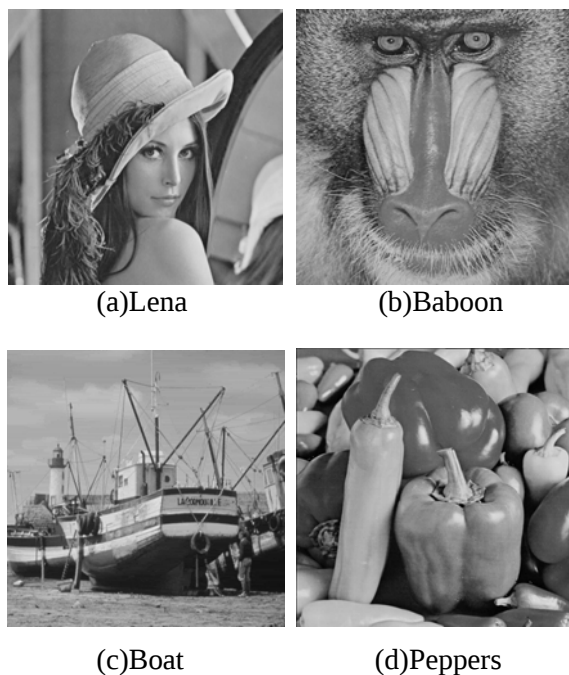


圖 5 測試圖像

我們利用影像信號雜訊比(Peak Signal to Noise Ratio, PSNR)測量影像品質。計算 PSNR 時需先計算均方差(Mean Squared Error)，如公式

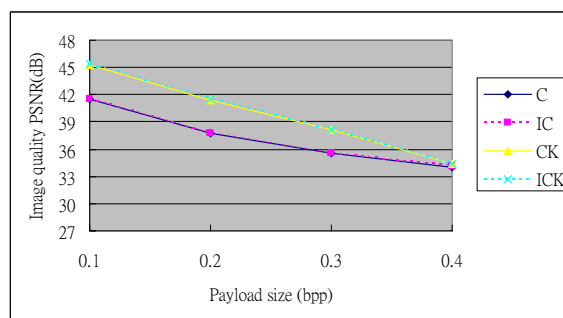
$$MSE = \frac{1}{m} \sum_{i=0}^{m-1} X_i - X_i', \quad (6)$$

假設偽裝影像與掩蔽影像大小為 m 、掩蔽影像的像素值為 X_i 、偽裝影像的像素值為 X_i' ，其中的 i 即為圖像中第 i 個像素值。

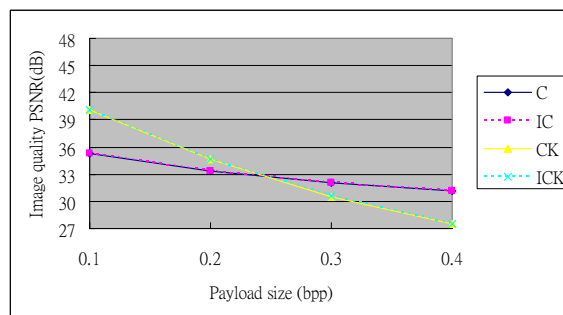
在 MSE 計算出來後，我們利用公式

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{255^2}{MSE} \right) \quad (7)$$

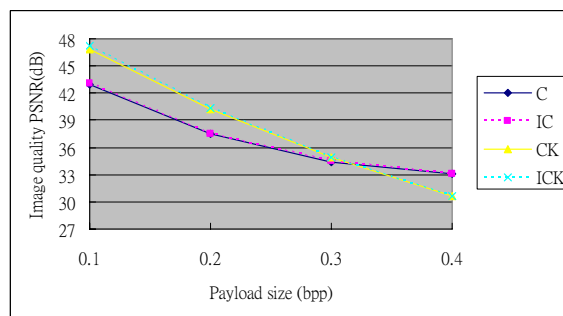
計算影像信號雜訊比，當 PSNR 值愈高時，代表偽裝影像與掩蔽影像差異不大，因此，人眼無法察覺圖像有異。此外，根據研究顯示，當 PSNR 值大於 28dB 以上，圖像品質是不錯的。



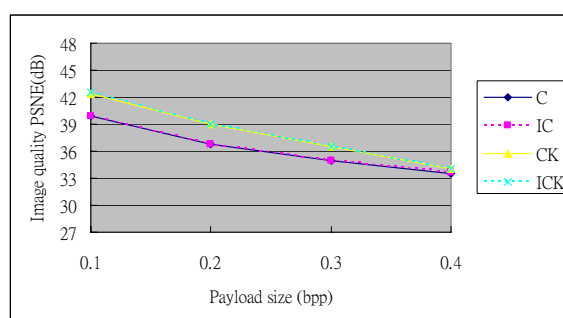
(a)Lena



(b)Baboon



(c)Boat



(d)Peppers
圖 6 實驗結果

實驗結果如圖 6，從 Lena、Baboon、Boat，以及 Peppers 可以看出在藏入量為 0.25bpp 以下時，ICK 與 CK 的影像品質皆比 IC 和 C 好。就 Baboon 圖像，藏入量為 0.1bpp，ICK 的影像品質比 C 高約 4.76dB。

5. 結論與未來研究方向

本研究首先改善 Coltuc 等學者所提出的可逆浮水印技術的缺點，在二相鄰像素值皆為奇數時，必須將第一個像素值的 LSB 修改為 0，這種情況下，造成影像品質的下降，因此，我們改良其演算法，使在同樣的藏入量時，圖像的影像品質更好。

此外，我們運用 Kamstra 等學者提出的影像失真控制技術，針對 Boat 與 Baboon 的圖像，在藏入資訊量不高時，影像品質比 Coltuc 等學者的方法高 4dB。

本研究從探討相關文獻，進而改良其方法與結合 Kamstra 等學者提出的失真控制技術，到最後的實驗與分析，其中可能仍有改善之處，因此，在此提出幾項未來可行的研究方向。

- (1) 藉由演算法重複利用，將機密資訊重複嵌入於灰階圖像中，以提高資訊藏量。
- (2) 修改演算法分割區塊及藏入方法，舉例來說，針對灰階影像取出 4×4 區塊的像素值，接著，判斷像素值為奇偶數，最後，執行藏入機密資訊，以達到更好的影像品質。

參考文獻

- [1] 呂慈純、陸哲明、張真誠，多媒體安全技術，全華圖書股份有限公司，2007。
- [2] D. Coltuc and J. Marc Chassery, "Very Fast Watermarking by Reversible Contrast Mapping," IEEE Signal Processing Letters, Vol. 14, No. 4, pp. 255-258, 2007.
- [3] D. M. Thodi and J. J. Rodriguez, "Expansion Embedding Techniques for Reversible Watermarking," IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 16, No.3, pp. 721-730, 2007.
- [4] H. J. Lin, M. Fujiyoshi, and H. Kiya, "Lossless Data Hiding in the Spatial Domain for High Quality Images," IEICE Transactions Fundamentals, Vol. E90-A, No. 4, 2007.
- [5] J. Tian, "Reversible Data Embedding Using a Difference Expansion," IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 13, No.8, pp. 890-896, 2003.
- [6] L. Kamstra and H. J. A. M. Heijmans, "Reversible Data Embedding Into Images Using Wavelet Techniques and Sorting," IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 14, No. 12, pp. 2082-2090, 2005.
- [7] M. U. Celik, G. Sharma, A. M. Tekalp, and E. Saber, "Lossless Generalized-LSB Data Embedding," IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 14, No. 2, pp. 253-266, 2005.
- [8] S. Sato, H. L. Jin, M. Fujiyoshi, and H. Kiya, "On Area to Compute Statistic for the Reversible Data Hiding Scheme," IEICE Technical Report, SIP2006-1, 2006.