

針對醫學影像之可逆資訊隱藏技術

A Reversible Data Hiding Scheme for Medical Images

黃樹乾

屏東教育大學資訊科學系

schuang@mail.npue.edu.tw

林明順

屏東教育大學資訊科學系

bm096109@mail.npue.edu.tw

摘要—在本研究中，我們將針對醫學灰階影像先利用前置處理使得0至255的像素值範圍影像轉成範圍為1至254像素值影像，再使用奇數行與偶數行的分類，利用歐基里德距離算出鄰近像素之權重提出預測方法，使用於直方圖之可逆式資訊隱藏技術。本研究中，利用預測方式求出像素值，再以預測值與原像素之差值來產生直方圖，然後將差值分為正數含0及負數兩部分，再分別取具有最高點的差值作為資訊的嵌入。我們以醫學影像作測試，實驗結果顯示，本提出方法具有高容量及低失真的特點。

關鍵詞—預測式、可逆式資訊隱藏

一、緒論

近年來，隨著資訊技術的進步，網際網路廣泛運用，而且任何資訊都可以轉換成數位資料，透過網路廣泛地傳播與散佈，不論是在法律、軍事、媒體、醫學...等，在數位科技所帶來的便利中，卻藏有潛在問題，例如隱私權、智慧財產權保護；著作的竄改或偽造；資訊的竊取、監聽...等，如何避免在傳輸過程中遭到任意的竄改、偽造、監聽...等，因此資訊隱藏技術備受注視。資訊隱藏技術為將訊息隱藏於多媒體之中而產生偽裝多媒體，這些偽裝多媒體具不易察覺性而達

到安全的資訊傳送及有效的保護資訊。而現今的資訊隱藏技術以數位浮水印（Digital Watermarking）及偽裝學（Steganography）為兩大熱門技術。

數位浮水印讓影像藏入認證資訊，避免遭受修改。所以數位浮水印著重於藏入的資訊之強韌性，通常此技術將資訊隱藏到預保護影像中，當需要時再萃取出，以達認證效果。然而藏入資訊的偽裝影像，影像具有不可察覺性（Imperceptibility），但是通常在過程中，造成影像不可回復。

偽裝學探討影像資訊隱藏（Data Hiding）為重點，強調對原始影像能維持不錯品質的情況下，能儘量在影像中藏入更多訊息，產生偽裝影像（Stego-image），使這些偽裝影像於傳輸過程中，不會引起其他人的懷疑。但是在強調高容量的情況下，又希望影像品質不受太大影響，因此如何去平衡提高負載度容量（Capacity）和不可察覺性兩種特性的議題極為重要。

在這些影像資訊隱藏技術中，有些技術往往於擷取資訊完後，仍使原始影像失真，無法完全回復，雖然只是些微的被破壞與失真，以肉眼看不出差異性，但是在某些特定專門領域上，例如醫學影像診斷，是不被允許的。因此可逆的資訊隱藏技術，改善影像不回復問題，和必需滿足高容量及不可察覺性，如何在兩者之間取得平衡，

是目前可逆式資訊隱藏相關研究的最大課題。

二、文獻探討

目前大部份可逆式資訊隱藏 [1-12]，是以灰階影像作輸入，也有一些是以二元影像或彩色的影像作輸入，以下將探討 Ni 學者等人[7]的方法。

Ni 學者等人提出以直方圖 (Histogram) 方式，統計出每個灰階值的出現次數，再針對出現次數最高之灰階值作為可逆式資訊隱藏技術。其演算法如下：

步驟 1: 先將圖的各個 pixel 的灰階值以直方圖統計次數，然後找出最高點及 0 點，設分別為 a, b 。

步驟 2: 若 $a > b$ ，將介於 a, b 的 pixel 之灰階值均減 1，pixel 之灰階值範圍將變為 $[b, a-1]$ ，若 $a < b$ ，將介於 a, b 的 pixel 之灰階值均增加 1，pixel 之灰階值範圍將變為 $[a+1, b]$ 。

步驟 3: 針對最高點之 pixel 的灰階值進行嵌入，假設欲嵌入資訊為 w ， $w \in \{0, 1\}$ 。當 $a > b$ ，藏入資訊 $w=1$ 時，pixel 的灰階值不變，否則 pixel 的灰階值加 1；當 $a < b$ ，藏入資訊 $w=1$ 時，pixel 的灰階值不變，否則 pixel 的灰階值減 1。

步驟 4: 輸出偽裝影像。

在 Ni 學者等人所提出的方法，在擷取及回復原影像時，需要有最高點的 pixel 之灰階值 a 、0 點的 pixel 之灰階值 b 以及藏入資訊的大小，其擷取與影像回復演算法如下：

步驟 1: 讀取 a, b 及藏入資訊的大小。

步驟 2: 判斷 a, b 之大小：

Case 1: 若 $a > b$ ，表示 a 及 $a-1$ 藏有資訊，當偽裝影像 pixel 之灰階值為 a 時，表示藏入資訊

$w=0$ ，pixel 之灰階值不變；當 pixel 之灰階值為 $a-1$ 時，表示藏入 $w=1$ ，並將 pixel 之灰階值加 1 回復；當 pixel 之灰階值介於 $[b, a-1)$ 時，表示沒有藏入任何資訊，並將 pixel 之灰階值加 1 回復；其餘 pixel 之灰階值，表示沒有藏入任何資訊，pixel 之灰階值不作任何改變。

Case 2: 若 $a < b$ ，表示 a 及 $a+1$ 藏有資訊，當偽裝影像 pixel 之灰階值為 a 時，表示藏入資訊 $w=0$ ，pixel 之灰階值不變；當 pixel 之灰階值為 $a+1$ 時，表示藏入 $w=1$ ，並將 pixel 之灰階值減 1 回復；當 pixel 之灰階值介於 $(a+1, b]$ 時，表示沒有藏入任何資訊，並將 pixel 之灰階值減 1 回復；其餘 pixel 之灰階值，表示沒有藏入任何資訊，pixel 之灰階值不作任何改變。

步驟 3: 輸出藏入的資訊及還原後的影像。

例如影像資訊如圖 1 (a) 所示，可得直方圖見圖 1 (b)。由直方圖可找出最高點 $a=157$ ，及 0 點 $b=162$ ，將介於 $[157, 162]$ 之間 pixel 之灰階值加 1，得到圖 1 (c) 及圖 1 (d)。假設欲藏入資訊 w 為 0000 1111 0101 10，由左而右，由上而下，逐一對 pixel 為 158 作嵌入動作：若 $w=0$ ，則 pixel 之灰階值變為 157；若 $w=1$ ，則 pixel 之灰階值保持不變，仍為 158，最後可以得到偽裝影像圖 1 (e) 和直方圖圖 1 (f)。

在擷取與影像還原時，由於知道最高點 pixel 之灰階值為 157 及 0 點 pixel 之灰階值為 162，而且 $157 < 162$ ，表示在偽裝影像中，pixel 之灰階值若為 157，表示藏有資訊 $w=0$ ，其原始 pixel 為 157；若 pixel 之灰階值為 158，表示藏有資訊 $w=1$ ，其原始 pixel 為 157；若 pixel 之灰階值為介於

[158,162]，則表示沒有藏入任何資訊，並將pixel之灰階值減1，即為其原始的pixel之灰階值；其餘pixel之灰階值，表示沒有藏入任何資訊，並且不作任何變動。當擷取完畢，即能得到藏入資訊為0000 1111 0101 10，以及原始影像為圖1 (a)。

三、我們提出的方法

本研究針對醫學灰階影像提出可逆式資訊隱藏技術，希望能達到高容量的藏量及高品質的偽裝影像，使得醫學影像中能藏入更多資訊，且不易被發現嵌有資訊。關於嵌入方法、擷取與影像回復方法的流程，詳見圖2與圖3。

(一) 嵌入方法

初始化：設 $evod = 1$ 表示從奇數行開始。

步驟1 (影像前處理)：為了避免在嵌入過程中，欲嵌入的 pixel 之灰階值可能為 0 或 255，在位移時可能有 overflow 或 underflow 問題，所以在嵌入前先將影像作前處理：將所有 pixel 之灰階值作直方圖表示，分別找出灰階值落於 $[0,GT]$ 和 $[255-GT,255]$ 之像素點，設 $t1$ 與 $t2$ 分別是 $[0,GT]$ 和 $[255-GT,255]$ 範圍中像素點最少的灰階值，將 $t1, t2$ 以及這些灰階落於 $t1, t2$ 的 pixel 之 x, y 座標記錄在 $oh1$ ，範圍 $[0, t1]$ 的像素點灰階值均加 1，範圍 $(t2, 255]$ 的像素點灰階值均減 1，前處理後得到的影像不包含有灰階是 0 或 255 的像素點， $oh1$ 則合併到欲嵌入的機密資訊而成一二元字串。

步驟2：如圖4 (a) 所示，利用歐基里得距離給予 pixel x 鄰近 6 個 pixel 權重 k ，其中權重值 k 將滿足 $\sum_{i=1}^6 k_i = 1$ ，且

$$k_1 = k_3 = k_4 = k_6 = \sqrt{2}k_2 = \sqrt{2}k_5。經由計算後可$$

得各權重值 k 如圖4 (b) 所示。例如圖4(c)

所示，可求出預測值 \hat{x} ：

$$\hat{x} = \left[\frac{2-\sqrt{2}}{4}(59+64+58+62) + \frac{\sqrt{2}-1}{2}(64+62) \right] = 61$$

本方法對第一行、第一列、最後一行及最後一列不作預測及嵌入動作：若 $evod = 1$ 則預測所有奇數行， $evod = 0$ 則預測所有偶數行。求出預測值後，計算預測值 \hat{x} 與原值 x 的差 $d = \hat{x} - x$ ，並以直方圖顯示各差值出現次數。

步驟3：將差值 d 分為正數含 0 及負數兩部分，分別找出最高點及 0 點，將資訊嵌入於最高點，並將具有最高點 (peak) 之差值 p_1, p_2 和 0 (zero) 點之差值 z_1, z_2 記錄在 oh_2 。然後分別將差值介於 $[p_1+1, Z_1-1]$ 及 $[z_2+1, p_2-1]$ 之間的差值 d 位移，得到新的差值 d' ，即

$$d' = \begin{cases} d+1 & , \text{if } d \in [p_1+1, z_1-1] \\ d-1 & , \text{if } d \in [z_2+1, p_2-1] \end{cases} \quad (1)$$

步驟4：讀取欲藏入的資訊 w ，在 $d' = p_1$ 或 $d' = p_2$ 嵌入資訊，若 $w = 0$ ，差值保持不變；若嵌入資訊 $w = 1$ ，那麼 $d' = p_1 + 1$ 或 $d' = p_2 - 1$ ，如下算式所示，直到最高點之差值 d 均使用過或是資訊藏完。

$$d' = \begin{cases} d & , \text{if } w = 0, d = p_1 \\ d+1 & , \text{if } w = 1, d = p_1 \\ d & , \text{if } w = 0, d = p_2 \\ d-1 & , \text{if } w = 1, d = p_2 \end{cases} \quad (2)$$

步驟5：將預測值 \hat{x} 與新的差值相減，即可得到偽裝影像的像素灰階值。計算 $evod = (evod + 1) \bmod 2$ ，如果 $evod = 0$ ，返回步驟2，否則下一步。

步驟6：將 oh_2 當為金鑰，並輸出偽裝影像。

以圖1 (a) 為例，先預測奇數行，得到圖5

(a)。算出預測值 \hat{x} 與原值 x 之差值 d ，並作出其直方圖，分別為圖 5 (b)、圖 5 (c)。假設欲藏入資訊 w 為 0000 1111 0101 10，為了方便舉例，在此亦假設奇數行藏完後所剩之 w 已包含奇數行的 p_1, p_2, z_1, z_2 。正數含 0 部份 $p_1=0, z_1=5$ ，將差值介於 $[1,5]$ 部份均加 1，即 $d'=d+1$ ；負數部份 $p_2=-1, z_2=-3$ ，將差值 $d=-2$ 部份減 1，即 $d'=d-1=-3$ ，經嵌入後可得新的差值 d' ，如圖 5 (d)。然後利用預測值 \hat{x} 減掉新的差值 d' ，即可得到藏於奇數行的偽裝影像，如圖 5 (e)。再來利用圖 5 (e) 預測偶數行部份，可得圖 5 (f)，並算出差值 d 及其直方圖，分別為圖 5 (g) 和圖 5 (h)。由直方圖可得正數含 0 部份 $p_1=0, z_1=1$ ；負數部份 $p_2=-2, z_2=-7$ ，所以差值介於 $[-3,-7]$ 均減 1，即 $d'=d-1$ ，再經由嵌入式後，可得新的差值 d' ，如圖 5 (i) 所示。最後利用預測值 \hat{x} 減掉新的差值 d' ，即可得到藏完一次後的偽裝影像，如圖 5 (j) 所示。

(二) 擷取與影像回復方法

初始化： $evod=0$ 。

步驟 1：若 $evod=1$ ，則預測所有奇數行，若 $evod=0$ 則預測所有偶數行。計算出預測值 \hat{x} 與偽裝影像的灰階值 x' 之差值 d' ，即 $d'=\hat{x}-x'$ 。

步驟 2：由金鑰可以得知 p_1, p_2, z_1, z_2 。若差值 $d'=p_1$ 或 $d'=p_2$ ，表示嵌有 $w=0$ ，原始差值 $d=d'$ ；若差值 $d'=p_1+1$ 或 $d'=p_2-1$ ，則表示嵌有 $w=1$ ，原始差值分別為 $d=p_1$ 及 $d=p_2$ ；將介於 $[p_1+2, z_1]$ 及 $[z_2, p_2-2]$ 之差值

d' 分別減 1 與加 1 位移得到 d ；其餘 $d=d'$ 。

步驟 3：預測值 \hat{x} 與差值 d 相減，回復影像像素值，即 $x=\hat{x}-d$ 。

步驟 4：計算 $evod=(evod+1) \bmod 2$ ，若 $evod=1$ ，

返回步驟 1，否則下一步。

步驟 5：輸出所得灰階影像與藏入的機密資訊，再從機密資訊中取出 ohl 以得到有灰階是 0 或 255 的原始影像。

以圖 5 (j) 為例，由金鑰可以得知 $p_1=0, p_2=-2, z_1=1, z_2=-7$ 。因為 $evod=0$ ，表示最後藏入為藏入偶數行，所以先預測所有偶數行，再計算差值 d' 。然後利用最高點及 0 點將差值 d' 回復回原始差值 d ，並擷取出機密資訊 w ，再用預測值 \hat{x} 和回復後的差值 d 回復影像，可以得到圖 5 (e)。因為 $evod=0$ ，所以下一步驟為 $evod=(evod+1) \bmod 2=(0+1) \bmod 2=1$ ，表示再來要還原奇數行部份。再以類似偶數行的還原步驟，逐一擷取出資訊 w 並回復影像，最後可得到影像圖 5 (a) 及所藏入的資訊。

四、實驗結果

我們將針對三張醫療影像作實驗如圖 6，其直方圖見圖 7，並以 PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio) 驗證偽裝影像品質，求 PSNR 值其算式如下式所示：

$$PSNR = 10 \times \log_{10} \left(\frac{255^2}{MSE} \right) \quad (3)$$

其中 $MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} (p'_i - p_i)^2$ ， p_i 表示原始影像之第 i 個 pixel 的灰階值，共有 N 個 pixel， p' 表示偽裝影像之第 i 個 pixel 灰階值。一般而言，當 PSNR 高於 35，以人的肉眼是幾乎看不出偽裝影像與原始影像的差異。

本研究將與 Ni 學者等人方法作比較。由表 1 可明顯看出圖 6 (a) 與 6 (b) 的數據容量本方法均比 Ni 學者等人方法好，PSNR 值則很相近。另外觀察圖 6 (c) 的數據，可以發現圖 6 (c)

影像大多數的像素灰階值非常接近於 0，因此使用本法在前處理過程，導致 PSNR 降低較多。但是整體而言，本法所提出之方法，改善了 Ni 學者等人所提出的方法。

五、結論與未來方向

本研究中，在嵌入過程，加上了影像前處理，移除灰階值為 0 或 255 的灰階醫學影像的像素點，避免掉 overflow 或 underflow 的情形。我們使用分別對奇數行與偶數行的方式作權重預測，利用差值的直方圖修正作資料的嵌入，由實驗數據中，說明容量高於 Ni 學者等人提出之方法，且 PSNR 均高於 47。

未來亦可考慮將影像切割成多種區塊，然後在特定的區塊上做預測嵌入的動作。例如將影像分成邊區域 (edge area) 及平滑區域 (smooth area)，對於邊區域的嵌入，在視覺上，比較不易被察覺，但在嵌入容量上往往會比平滑區域少；平滑區域部份，通常可嵌入容量非常高，但是嵌入後，容易被發現藏有資訊。因此利用區塊的分類，如何在容量以及可察覺性上取得平衡，在未來方面，可以實驗驗證。

六、參考文獻

- [1] A.M. Alattar, "Reversible Watermark Using the Difference Expansion of Generalized Integer Transform", IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 13, No. 8, pp. 1147-1156, 2004.
- [2] H.L. Jin, M. Fujiyoshi and H. Kiya, "Lossless Data Hiding in the Spatial Domain for High Quality Images", IEICE Trans. Fundamentals, Vol. E90-A, No. 4, pp. 771-777, 2007.
- [3] S. Lee, C.D. Yoo, and T. Kalker, "Reversible image watermarking based on integer-to-integer wavelet transform", IEEE Transactions on Information Forensics Security, Vol. 2, No. 3, pp. 321-330, 2007.
- [4] C.C. Lin, W.L. Tai and C.C. Chang, "Multilevel Reversible Data Hiding Based on Histogram Modification of Difference Images", Pattern Recognition, Vol. 41, No. 12, pp. 3582-3591, 2008.
- [5] C.L. Liu, D.C. Lou and C.C. Lee, "Reversible Data Embedding Using Reduced Difference Expansion", IEEE Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, Vol. 1, pp. 433-436, 2007.
- [6] D.C. Lou, M.C. Hu and J.L. Liu, "Multiple Layer Data Hiding Scheme for Medical Images", Computer Standards & Interfaces, Vol. 31, No. 2, pp. 329-335, 2009.
- [7] Z. Ni, Y.Q. Shi, N. Ansari, and W. Su, "Reversible Data Hiding", IEEE Transaction on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 16, No. 3, pp. 354-362, 2006.
- [8] J. Tian, "Reversible Data Embedding Using a Difference Expansion", IEEE Transactions on Circuits and System for Video Technology, Vol. 13, No. 8, pp. 831-841, 2003.
- [9] P. Tsai, Y.C. Hu, and H.L. Yeh, "Reversible Image Hiding Scheme Using Predictive Coding and Histogram Shifting", Signal Processing, Vol. 89, Issue 6, pp. 1129-1143, 2008.
- [10] H.W. Tseng and C.C. Chang, "An Extended Difference Expansion Algorithm for Reversible Watermarking", Image and Vision Computing, Vol. 26, No. 8, pp. 1148-1153, 2008.
- [11] S.W. Weng and Y. Zhao, "Lossless Data Hiding Based on Companding Technique and Difference Expansion of Triplets", IEICE

Trans. Fundamentals, Vol. E90-A, No. 8, pp. 1717-1718, 2007.

Differences”, Pattern Recognition, Vol. 41, No. 4, pp. 1415-1425, 2008.

[12] C.C. Lin and N.L. Hsueh, “A Lossless Data Hiding Scheme based on Three-pixel Block

| | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 158 | 159 | 160 | 157 | 157 | 163 | 157 | 158 |
| 158 | 155 | 154 | 155 | 157 | 161 | 154 | 155 |
| 160 | 156 | 155 | 155 | 152 | 158 | 158 | 157 |
| 159 | 159 | 155 | 150 | 148 | 159 | 158 | 157 |
| 156 | 157 | 153 | 159 | 156 | 160 | 156 | 158 |
| 157 | 160 | 157 | 156 | 156 | 159 | 155 | 154 |
| 155 | 155 | 158 | 158 | 156 | 155 | 156 | 151 |
| 157 | 155 | 158 | 157 | 154 | 157 | 157 | 157 |

圖 1 (a)

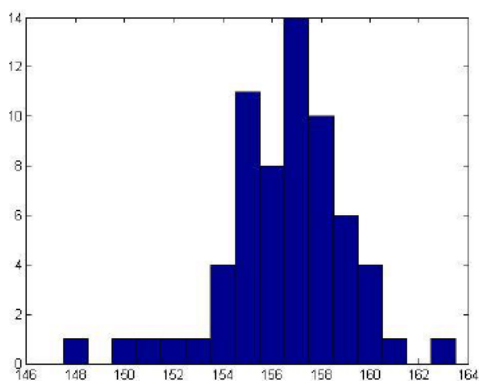


圖 1 (b)

| | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 159 | 160 | 161 | 158 | 158 | 163 | 158 | 159 |
| 159 | 155 | 154 | 155 | 158 | 162 | 154 | 155 |
| 161 | 156 | 155 | 155 | 152 | 159 | 159 | 158 |
| 160 | 160 | 155 | 150 | 148 | 160 | 159 | 158 |
| 156 | 158 | 153 | 160 | 156 | 161 | 156 | 159 |
| 158 | 161 | 158 | 156 | 156 | 160 | 155 | 154 |
| 155 | 155 | 159 | 159 | 156 | 155 | 156 | 151 |
| 158 | 155 | 159 | 158 | 154 | 158 | 158 | 158 |

圖 1 (c)

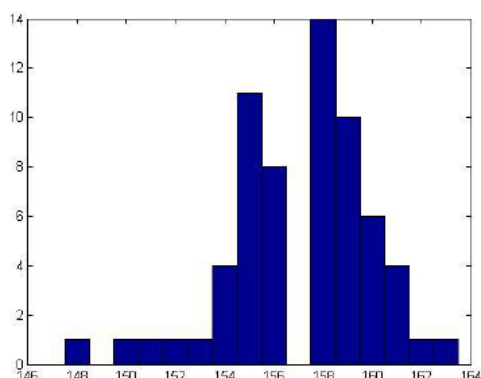


圖 1 (d)

| | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 159 | 160 | 161 | 157 | 157 | 163 | 157 | 159 |
| 159 | 155 | 154 | 155 | 157 | 162 | 154 | 155 |
| 161 | 156 | 155 | 155 | 152 | 159 | 159 | 158 |
| 160 | 160 | 155 | 150 | 148 | 160 | 159 | 158 |
| 156 | 158 | 153 | 160 | 156 | 161 | 156 | 159 |
| 158 | 161 | 157 | 156 | 156 | 160 | 155 | 154 |
| 155 | 155 | 159 | 159 | 156 | 155 | 156 | 151 |
| 158 | 155 | 159 | 157 | 154 | 158 | 158 | 157 |

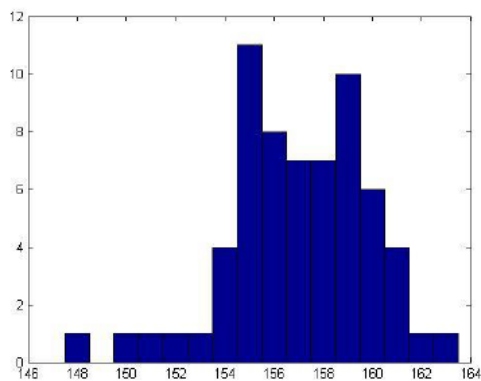


圖 1 (e)

圖 1 (f)

圖 1. Ni 學者等人方法的範例

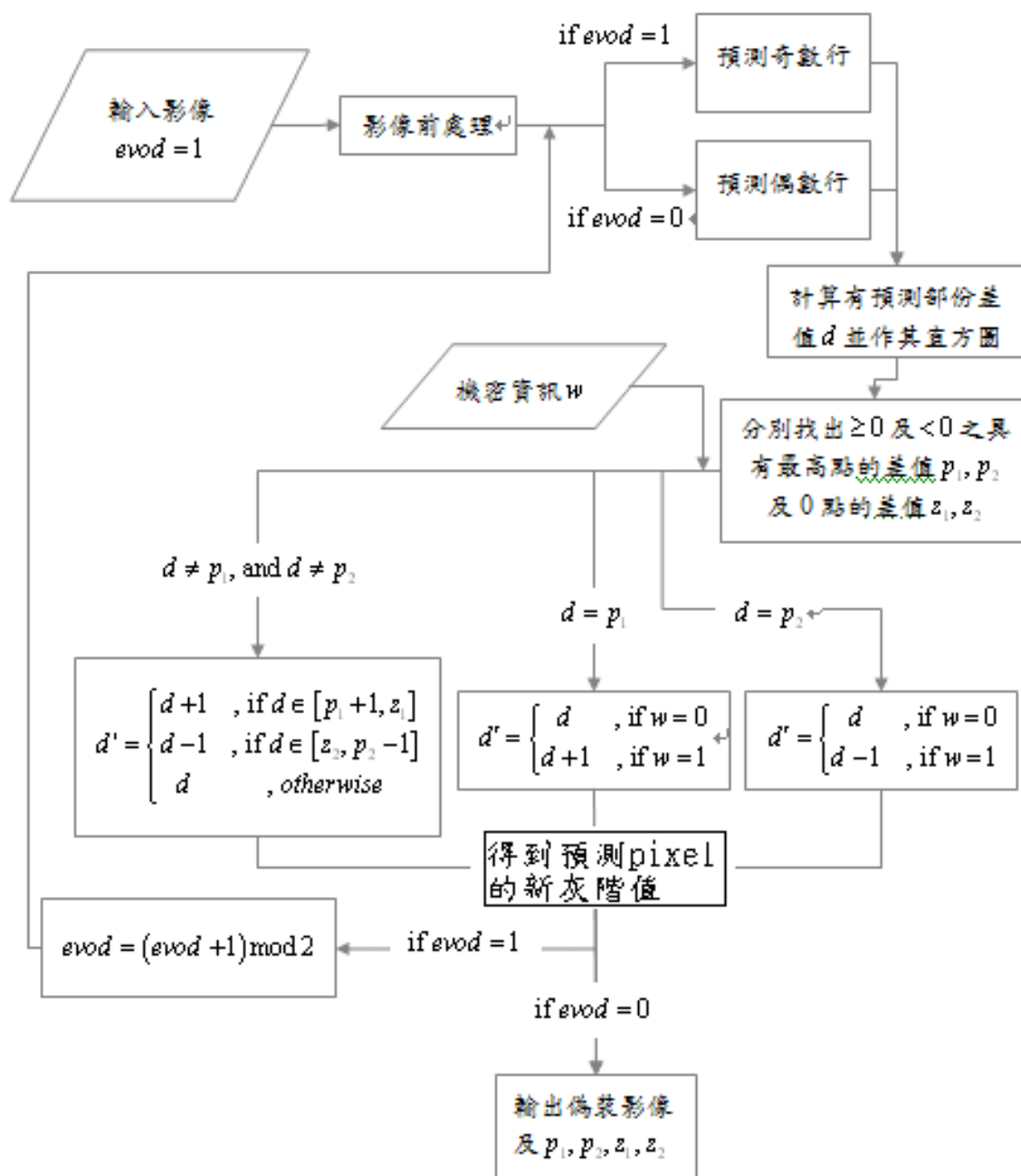


圖 2. 本方法嵌入的流程圖

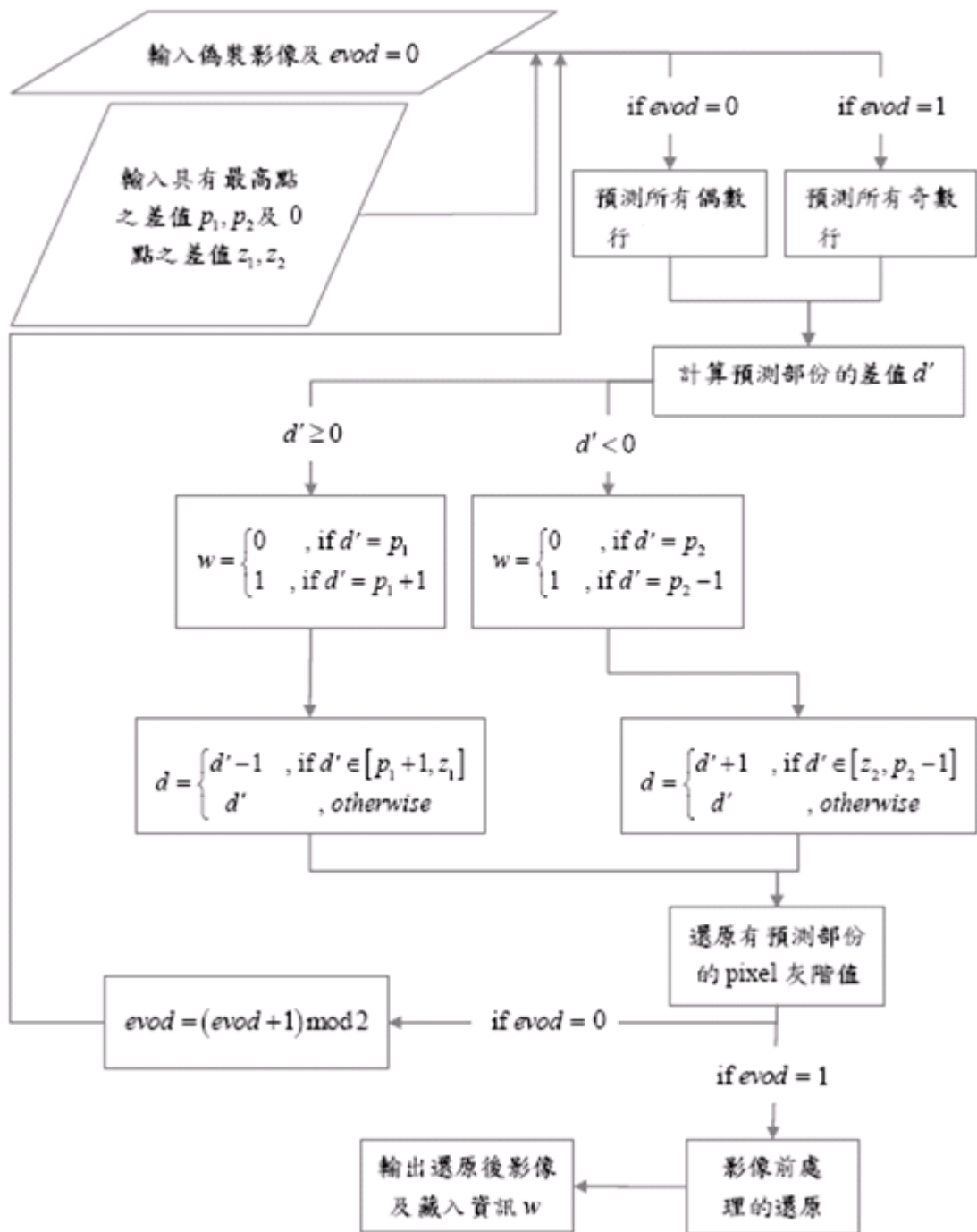


圖 3. 本方法擷取與影像回復流程圖

| | | |
|-------|-----|-------|
| k_1 | | k_4 |
| k_2 | x | k_5 |
| k_3 | | k_6 |

圖 4 (a)

| | | |
|------------------------|-----|------------------------|
| $\frac{2-\sqrt{2}}{4}$ | | $\frac{2-\sqrt{2}}{4}$ |
| $\frac{\sqrt{2}-1}{2}$ | x | $\frac{\sqrt{2}-1}{2}$ |
| $\frac{2-\sqrt{2}}{4}$ | | $\frac{2-\sqrt{2}}{4}$ |

圖 4 (b)

| | | |
|----|-----------|----|
| 59 | | 58 |
| 64 | \hat{x} | 62 |
| 64 | | 62 |

圖 4 (c)

圖 4. 使用權重預測之圖示

| | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 158 | 159 | 160 | 157 | 157 | 163 | 157 | 158 |
| 158 | 155 | 156 | 155 | 158 | 161 | 158 | 155 |
| 160 | 156 | 155 | 155 | 156 | 158 | 157 | 157 |
| 159 | 159 | 155 | 150 | 156 | 159 | 158 | 157 |
| 156 | 157 | 156 | 159 | 157 | 160 | 157 | 158 |
| 157 | 160 | 157 | 156 | 157 | 159 | 156 | 154 |
| 155 | 155 | 156 | 158 | 156 | 155 | 155 | 151 |
| 157 | 155 | 158 | 157 | 154 | 157 | 157 | 157 |

圖 5 (a)

| | | |
|----|---|----|
| 2 | 1 | 4 |
| 0 | 4 | -1 |
| 0 | 8 | 0 |
| 3 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 1 |
| -2 | 0 | -1 |

圖 5 (b)

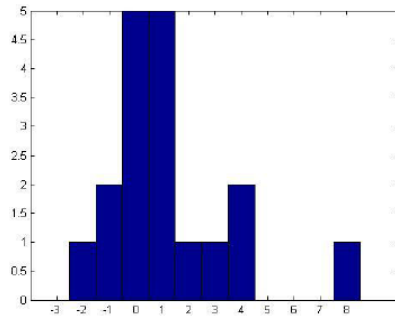


圖 5 (c)

| | | |
|----|---|----|
| 3 | 2 | 5 |
| 0 | 5 | -1 |
| 0 | 8 | 0 |
| 4 | 2 | 2 |
| 1 | 2 | 2 |
| -3 | 1 | -2 |

圖 5 (d)

| | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 158 | 159 | 160 | 157 | 157 | 163 | 157 | 158 |
| 158 | 155 | 153 | 155 | 156 | 161 | 153 | 155 |
| 160 | 156 | 155 | 155 | 151 | 158 | 158 | 157 |
| 159 | 159 | 155 | 150 | 148 | 159 | 158 | 157 |
| 156 | 157 | 152 | 159 | 155 | 160 | 155 | 158 |
| 157 | 160 | 156 | 156 | 155 | 159 | 154 | 154 |
| 155 | 155 | 159 | 158 | 155 | 155 | 157 | 151 |
| 157 | 155 | 158 | 157 | 154 | 157 | 157 | 157 |

圖 5 (e)

| | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 158 | 159 | 160 | 157 | 157 | 163 | 157 | 158 |
| 158 | 157 | 153 | 155 | 156 | 155 | 153 | 155 |
| 160 | 156 | 155 | 153 | 151 | 154 | 158 | 157 |
| 159 | 156 | 155 | 152 | 148 | 154 | 158 | 157 |
| 156 | 155 | 152 | 153 | 155 | 154 | 155 | 158 |
| 157 | 155 | 156 | 155 | 155 | 155 | 154 | 154 |
| 155 | 157 | 159 | 156 | 155 | 155 | 157 | 151 |
| 157 | 155 | 158 | 157 | 154 | 157 | 157 | 157 |

圖 5 (f)

| | | |
|----|----|----|
| 2 | 0 | -6 |
| 0 | -2 | -4 |
| -3 | 2 | -5 |
| -2 | -6 | -6 |
| -5 | -1 | -4 |
| 2 | -2 | 0 |

圖 5 (g)

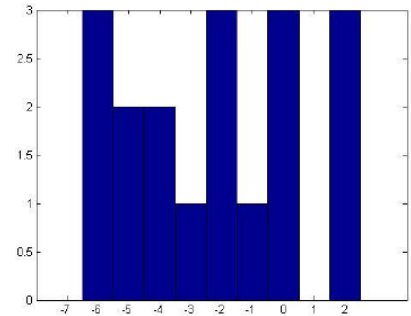


圖 5 (h)

| | | |
|----|----|----|
| 2 | 1 | -7 |
| 0 | -3 | -5 |
| -4 | 2 | -6 |
| -2 | -7 | -7 |
| -6 | -1 | -5 |
| 2 | -3 | 1 |

圖 5 (i)

| | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 158 | 159 | 160 | 157 | 157 | 163 | 157 | 158 |
| 158 | 155 | 153 | 154 | 156 | 162 | 153 | 155 |
| 160 | 156 | 155 | 156 | 151 | 159 | 158 | 157 |
| 159 | 160 | 155 | 150 | 148 | 160 | 158 | 157 |
| 156 | 157 | 152 | 160 | 155 | 161 | 155 | 158 |
| 157 | 161 | 156 | 156 | 155 | 160 | 154 | 154 |
| 155 | 155 | 159 | 159 | 155 | 154 | 157 | 151 |
| 157 | 155 | 158 | 157 | 154 | 157 | 157 | 157 |

圖 5 (j)

圖 5. 使用本方法之範例



圖 6 (a)

圖 6 (b)

圖 6 (c)

圖 6. 三張實驗影像, 影像大小 : (a) 450×417, (b) 508×424, (c) 256×256

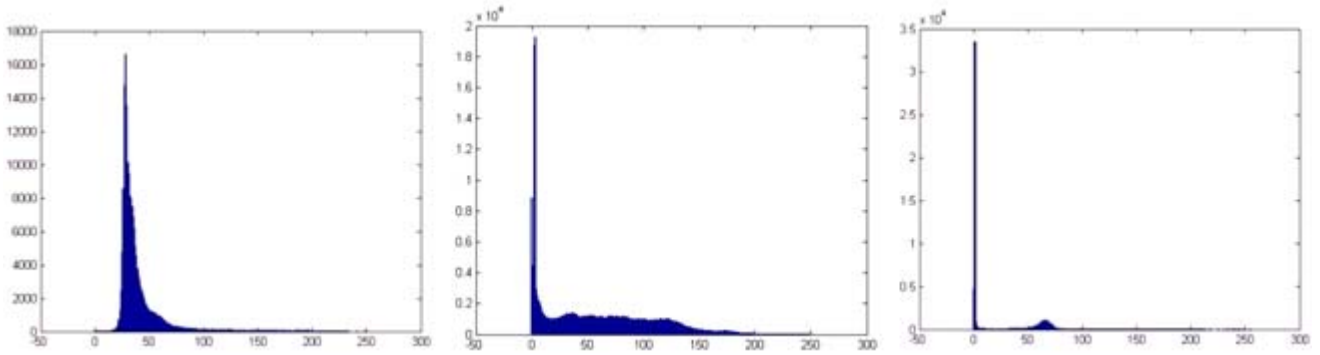


圖 7 (a)

圖 7 (b)

圖 7 (c)

圖 7. 三張實驗影像之直方圖

表 1. 本法與 Ni 學者等人方法之比較

| 圖 6 | 我們提出之方法 | | Ni 學者等人方法 | |
|-----|-------------|--------------|-------------|--------------|
| | 容量 (bit) | PSNR (dB) | 容量 (bit) | PSNR (dB) |
| (a) | 148,918 | 50.39 | 16,591 | 49.24 |
| (b) | 166,029 | 49.09 | 19,287 | 50.45 |
| (c) | 43,693 | 47.07 | 33,501 | 49.86 |