

交錯式預測編碼之可逆式資訊隱藏

莊溫修

國立聯合大學資訊工程學系

U9424029@smail.nuu.edu.tw

蔡丕裕

國立聯合大學資訊工程學系

pytsai@nuu.edu.tw

摘要

資訊隱藏是實現保護資訊安全的一種重要方式。本論文以預測編碼來強化灰階影像的直方圖，以達成可逆資訊隱藏的目的。在本方法中，使用交錯預測編碼的技術，將預測誤差值轉換為直方圖，以便創造出更高的高點，讓資訊的隱藏量大幅的提昇。對於每一個像素言，其在原始影像和偽裝影像中的誤差值，大都能維持在1以內，因此，偽裝影像的PSNR值至少都是48 dB以上。實驗結果顯示，我們的直方圖式可逆資訊隱藏技術，相較於其他直方圖式的方法，可以大幅的提昇資訊嵌入量，並且仍然維持良好的偽裝影像品質。

關鍵詞： 資訊隱藏、浮水印、可逆性

Abstract

Data hiding is one of methods to implement the information security. In this paper, a prediction based reversible data hiding scheme is proposed. An interleave prediction coding is employed to change the original pixel value distribution. Based on this image coding, the hiding capacity is improved. Also, the stego-image quality is preserved and greater than PSNR values dB. The experiment results showed the proposed scheme obtained a greater hiding capacity than Ni's scheme. In addition, the image quality is also preserved.

Keywords: Data hiding , Watermarking , reversibility.

1. 前言

隨著數位科技的進步與網路的快速普及，數位網路已成為每個人生活中不可或缺的一部份。然而網路安全和數位資訊的安全都成為

重要的議題，其中資訊隱藏(Data Hiding)是上述議題中的一個重要技術。而多媒體的特性吸引了無數的使用者，其網路上的快速傳播，引發了傳輸上的安全和智慧財產權的保護等難題，而資訊隱藏的技術提供了秘密傳送和多媒體保護的一種技術，好的資訊隱藏技術，通常需要滿足安全性(Security)、不可察覺性(Imperceptibility)與高資訊嵌入量(High Capacity)三種條件，但其中的不可察覺性與高資訊嵌入量卻常常無法兼顧到。

目前有很多學者提出各式各樣的資訊隱藏方法，這些方法可概分為可逆式(Reversible)與不可逆式(Irreversible)資訊隱藏技術，不可逆式的資訊隱藏技術在取出隱藏於偽裝媒體機密資訊後此偽裝媒體無法再還原為原來的樣子，而可逆式的資訊隱藏技術可以將偽裝媒體再還原。可逆式的資訊隱藏技術越來越受注意，因為軍事影像、醫學影像或有法律效力的媒體都必須還原成原始影像，這一類的影像都需要有被破壞後還可恢復原始影像的特性[3, 4]。

在可逆式的資訊隱藏技術中[2, 5-8]，Ni等學者分析影像的直方圖，從直方圖中取出最高點和零點的像素值，然後將最高點和零點之間像素值往零點位移一個位置，在位移所空出來的位置嵌入機密資訊，當取出所嵌入的資訊後，再將最高點和零點的像素值往最高點方向位移回去，如此，機密訊息可藏入且影像可還原[6]。

以直方圖為基礎的可逆式資訊隱藏方法陸續被提出，在2007年，葉和胡教授提出區塊預測編法的可逆式隱藏方法，其利用區塊預測方法計算出預測誤差值，然後分析預測誤差值的直方圖，以此直方圖和Ni的方法配合，獲得更高隱藏容量且具影響的還原性[1]。Yousefi教授等將影像作離散小波轉換，然後統計分析小波係數的分佈，再以直方圖方法的概念發展出可逆勢之隱藏技術[7]。2008年，林教授等探討影像之差值再結合Ni的方法，獲得多層次

可還原技術[5]。

本論文即針對灰階影像提出新預測編碼為基礎的可逆式資訊隱藏技術，我們採用交錯預測方式來提高嵌入量。本論文的結構如下：在第二部分，我們簡介Ni等學者和葉和胡教授的方法，在第三部分，我們將詳細說明我們提出方法，實驗結果將在第四部分描述，討論和結語則在最後部分說明。

2. 相關技術

2.1 Ni 的可逆式資訊隱藏方法

Ni 等學者在2006年提出了簡單而有效率的逆式資訊隱藏技術[5]，其方法是將原始影像的所有像素值以直方圖輸出，找出直方圖中的一組高點(peak point)與零點(zero point)，將高點與零點之間的數值位移一個位置，空出高點旁邊的位置，即可利用所有像素中其像素值位於高點位置者來藏入預藏入的資訊。其藏入資訊的演算法如下：

輸入：原始影像、機密訊息

輸出：偽裝影像、高點和零點對

1. 將原始影像的像素值以直方圖表示，並找出圖中高點(P)和零點(Z) 對 $\text{Pair}(P, Z)$ 。
2. 將像素值在高點和零點之間的像素作位移：
 - (1) 若 $P > Z$ ，則區間 $[Z + 1, P - 1]$ 的像素皆向左位移一個位置。
 - (2) 若 $P < Z$ ，則區間 $[P + 1, Z - 1]$ 的像素皆向右位移一個位置。
3. 利用像素值為 P 的像素來藏入機密訊息：
 - (1) 若 $P > Z$ ：藏位元0時，像素值不變；藏位元1時，像素值減1。
 - (2) 若 $P < Z$ ：藏位元0時，像素值不變；藏位元1時，像素值加1。
4. 輸出偽裝影像、 $\text{Pair}(P, Z)$ 。

2.2 葉和胡教授的方法

葉和胡教授在2007年提出預測編碼的直方圖式可逆資訊隱藏技術[8]，其方法是將原始影像的像素值先做預測編碼，預測編碼所產生的誤差值再以直方圖表示之，此直方圖便可產生出更高的高點及更多的零點，資訊的藏入量可大幅的增加。其演算法如下所示：

輸入：原始影像、機密訊息

輸出：偽裝影像、2 組 $\text{Pair}(P, Z)$

1. 將原始影像分割成大小為 3×3 的不重疊區塊，利用每個區塊的中間像素值來預測其周圍的 8 個像素值。
2. 將預測誤差值建立正與負值直方圖。
3. 利用直方圖，從正值直方圖與負值直方圖中各找出一組 $\text{Pair}(P, Z)$ 。
4. 將各組 $\text{Pair}(P, Z)$ 之間的像素進行位移：
 - (1) 若 $P > Z$ ，則區間 $[Z + 1, P - 1]$ 的像素皆向左位移一個位置。
 - (2) 若 $P < Z$ ，則區間 $[P + 1, Z - 1]$ 的像素皆向右位移一個位置。
5. 利用預測值等於 P 者來藏入機密訊息：
 - (1) 若 $P > Z$ ：藏0 時，預測誤差值不變；藏1 時，預測誤差值減1。
 - (2) 若 $P < Z$ ：藏0 時，預測誤差值不變；藏1 時，預測誤差值加1。
6. 每個 3×3 的區塊利用其中間的像素值，將周圍的預測誤差值做反預測，算出周圍的8個像素值。
7. 輸出偽裝影像、2 組 $\text{Pair}(P, Z)$ 。

3. 研究方法

本方法探討預測編碼之預測誤差值之分布情形，再運用Ni等學者的直方圖式之可逆隱藏技術，達到更高的資訊容量並保留影像的品質，本方法亦改進葉和胡教授的方法，使每一像素都可能提供隱藏，因為葉和胡教授的區塊預測中作為預測的像素(中間像素)無法用來藏入資訊。

本方法採用交錯式預測編碼方法，提高直方圖中高點的高度，以便增加資訊的嵌入量。這邊所提出的預測編碼方法，可以將一張影像中所有的像素值全部做預測編碼，充分利用每一個像素值，並且藏入機密訊息後的偽裝影像，絕大部分像素值的改變量均小於或等於1，保持原始影像和偽裝影像的相似度，可以維持PSNR 值至少有48 dB 的水準。我們的交錯式預測編碼法的主要利用黑白交錯棋盤式的方式(如圖 1)，利用該點前後的像素值去預測該像素值，預測完之後即可大幅提升高點的高度，如此一來，也可以充分的利用每一個像素值。我們的可逆式嵌入演算法，以及取出與復原程序，將詳細的介紹於后。

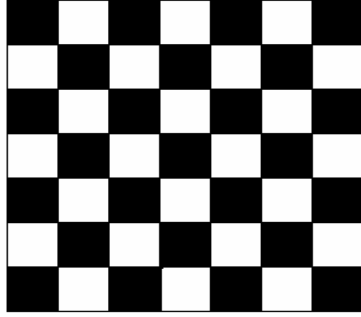


圖 1 黑白交錯棋盤式的概念

3.1 可逆式嵌入程序

輸入：原始影像、機密訊息

輸出：偽裝影像、2 組 Pair(P, Z)

1. 輸入原始影像(512*512影像為例)

$$H = \{ P_{0,0}, P_{0,1}, \dots, P_{0,511}, P_{1,0}, \dots, P_{511,511} \}。$$

2. 對原始影像中黑色區塊的像素值做預測編碼，其中 $P_{i,j}$ 為原始像素值， $D_{i,j}$ 為預測誤差值，其預測方法如下：

(1) 若 $i+j$ 為奇數，此時 $P_{i,j}$ 為白色區塊的像素值，不處理。

(2) 若 $j = 0$ ，則 $D_{i,j} = P_{i,j} - P_{i,j+1}$ 。

若 $j = \text{邊界值} - 1$ ，則 $D_{i,j} = P_{i,j} - P_{i,j-1}$ 。

(3) 其他 j 值，則 $D_{i,j} = P_{i,j} - \left\lfloor \frac{P_{i,j-1} + P_{i,j+1}}{2} \right\rfloor$

3. 將黑色區塊的預測誤差值以直方圖表示。

4. 找出預測誤差值的直方圖中最高點及高度為0的位置，分別為Hblack 和Zblack。

5. 位移：將區間[Hblack +1, Zblack - 1]之間的像素向右位移一個位置。

6. 利用誤差值為Hblack的像素，藏入機密訊息：

(1) 欲藏入訊息 0 時，像素誤差值不變。

(2) 欲藏入訊息為 1 時，像素誤差值加1。

7. 將黑色區塊的預測誤差值做反向預測，其中 $P_{i,j}$ 為原始像素值、 $D'_{i,j}$ 為已藏入機密訊息的預測誤差值、 $P'_{i,j}$ 為已藏入機密訊息的像素值，公式如下：

(1) 若 $i+j$ 為奇數，此時 $P_{i,j}$ 代表黑色區塊的像素值，不處理。

(2) 若 $j = 0$ ，則 $P'_{i,j} = D'_{i,j} + P_{i,j+1}$

(3) 其他 j 值，則 $P'_{i,j} = D'_{i,j} + \left\lfloor \frac{P_{i,j-1} + P_{i,j+1}}{2} \right\rfloor$

8. 將白色區塊的像素值做預測，其中 $P_{i,j}$ 為原始像素值， $D_{i,j}$ 為預測誤差值， $P'_{i,j}$ 為已藏入機密訊息的像素值，預測方法如下：

(1) 若 $i+j$ 為偶數，此時 $P_{i,j}$ 為黑色區塊的像素值，不處理。

(2) 若 $j = 0$ ，則 $D_{i,j} = P_{i,j} - P'_{i,j+1}$ 。

若 $j = \text{邊界值} - 1$ ，則 $D_{i,j} = P_{i,j} - P'_{i,j-1}$ 。

(3) 其他 j 值，則 $D_{i,j} = P_{i,j} - \left\lfloor \frac{P'_{i,j-1} + P'_{i,j+1}}{2} \right\rfloor$

9. 將白色區塊的預測誤差值以直方圖輸出。

10.重複步驟4~6，對偶數行做藏入機密訊息。

11.將白色區塊所預測的像素值做反向預測，求得已藏入機密訊息的像素值 $P'_{i,j}$ ，其中 $D'_{i,j}$ 為已藏入機密訊息的預測誤差值，公式如下：

(1) 若 $i+j$ 為奇數，此時 $P_{i,j}$ 代表黑色區塊的像素值，不處理。

(2) 若 $j = 0$ ，則 $P'_{i,j} = D'_{i,j} + P_{i,j+1}$

(3) 其他 j 值，則 $P'_{i,j} = D'_{i,j} + \left\lfloor \frac{P'_{i,j-1} + P'_{i,j+1}}{2} \right\rfloor$

12. 輸出偽裝影像、(Hblack, Zblack)、(Hwhite, Zwhite)。

下面舉一個簡單的範例來說明我們嵌入演算法。假設有一原始影像

$$H = \{ P_{0,0}, P_{0,1}, \dots, P_{0,4}, P_{1,0}, P_{1,1}, \dots, P_{4,4} \}$$

其大小為 5×5 的灰階影像，如下面表1所示，先對原始影像中黑色區塊的像素值做預測編碼，其中 $P_{i,j}$ 為原始像素值， $D_{0,0} = P_{0,0} - P_{0,1} = 4 - 4 = 0$ ；

$P_{0,1} = 4$ 為白色區塊的像素值，不處理；

$$D_{0,2} = P_{0,2} - \left\lfloor \frac{P_{0,1} + P_{0,3}}{2} \right\rfloor = 5 - \left\lfloor \frac{4+6}{2} \right\rfloor = 0；$$

以此類推，結果如表2所示。然後輸出黑色區塊預測誤差的直方圖，如圖2所示。

表 1 原始影像

4	4	5	6	5
4	4	5	5	4
5	5	4	4	5
4	4	6	4	3
6	5	4	4	4

表 2 原始影像的黑色區塊預測誤差值

0	4	0	6	-1
4	0	5	1	4
0	5	0	4	1
4	-1	6	0	3
1	5	0	4	0

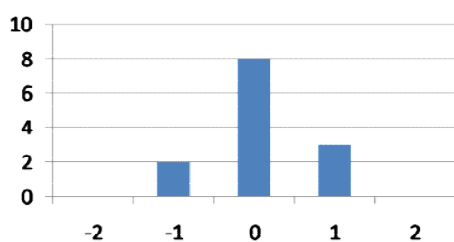


圖 2 黑色區塊預測誤差值之直方圖

表 3 位移後黑色區塊的預測誤差值

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

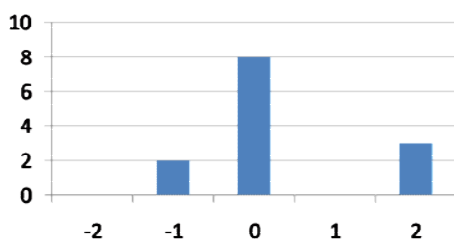


圖 3 位移後黑色區塊的直方圖

然後，找出高點與零點， $(H_{black}, Z_{black}) = (0, 2)$ 。位移後，其值如表3、直方圖如圖3 所示。接著利用預測誤差值為 H_{black} 者來藏入機

密訊息。假設機密訊息為 $I = 01101110(2)$ ，藏入後其值如表 4、直方圖如圖 4 所示。最後，將每個預測誤差值做反預測的運算， $P'_{0,0} = D'_{0,0} + P_{0,1} = 0 + 4 = 4$ ；

$$P'_{0,2} = D'_{0,2} + \left\lfloor \frac{P_{0,1} + P_{0,3}}{2} \right\rfloor = 1 + \left\lfloor \frac{4 + 6}{2} \right\rfloor = 6;$$

以此類推，即可得到黑色區塊藏入機密訊息之後的影像，如下面表5的結果，此時黑色區塊的嵌入動作已經完成。

表 4 黑色區塊藏入機密後的值

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

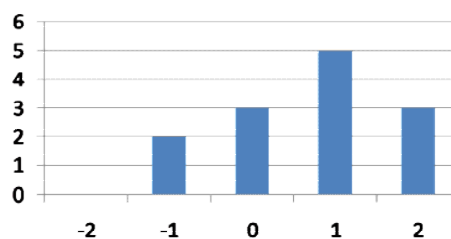


圖 4 黑色區塊藏入機密後之直方圖

表 5 黑色區塊藏入機密後的影像

4	4	6	6	5
4	5	5	6	4
5	5	5	4	6
4	4	6	5	3
7	5	5	4	4

接著，將偶數行的像素值做預測編碼

$$D_{0,1} = P_{0,1} - \left\lfloor \frac{P'_{0,0} + P'_{0,2}}{2} \right\rfloor = 4 - \left\lfloor \frac{4 + 6}{2} \right\rfloor = -1;$$

以此類推，結果如表6所示。然後，將白色區塊預測誤差值以直方圖輸出，如圖5 所示。找出高點與零點，分別為 $(H_{white}, Z_{white}) = (0, 3)$ 。位移後，其值如表7、直方圖如圖6 所示。接著，利用預測誤差值為 H_{white} 者來藏入機密訊息，假設繼續藏入的機密訊息為 $\Pi = 1010(2)$ ，藏入後其值如表8、直方圖如圖7 所

示。最後，再將每個預測誤差值做反預測的運算：

$$P'_{0,1} = D'_{0,1} + \left\lfloor \frac{P'_{0,0} + P'_{0,2}}{2} \right\rfloor = -1 + \left\lfloor \frac{4+6}{2} \right\rfloor = 4;$$

以此類推，即可完成白色區塊的嵌入動作，做完之後即可得到表9的偽裝影像

表 6 原始影像的白色區塊預測誤差值

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

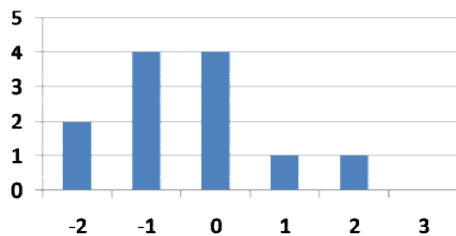


圖 5 白色區塊預測誤差值之直方圖

表 7 位移後白色區塊的預測誤差值

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

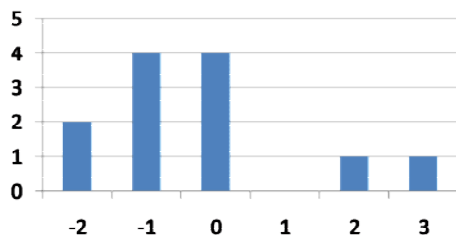


圖 6 位移後白色區塊的直方圖

表 8 白色區塊藏入機密後的值

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

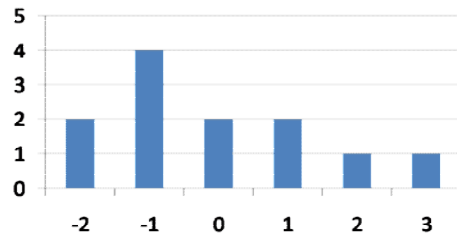


圖 7 白色區塊藏入機密後之直方圖

表 9 偽裝影像

4	4	6	7	5
4	5	6	6	4
5	5	5	4	6
5	4	7	5	3
7	5	5	4	4

3.2 取出與復原程序

輸入：偽裝影像、2組Pair(P, Z)

輸出：原始影像、機密訊息

1. 先將偽裝影像的白色區塊做預測編碼，並根據白色區塊的(H_{white} , Z_{white})即可取出機密訊息 II，並將偶數行的預測值還原。
2. 將白色區塊的預測值作反預測計算，還原起始像素值。
3. 再將黑色區塊的像素值作預測編碼，根據黑色區塊的(H_{black} , Z_{black})即可取出機密訊息 I，並將黑色區塊的預測值還原。
4. 將黑色區塊的預測值作反預測計算，還原其原始像素值。
5. 機密訊息=機密訊息 I + 機密訊息 II。

延續之前的範例，以表9的偽裝影像來說明取出和復原的過程。首先，將偽裝影像的白色

區塊做預測編碼，其預測方法和嵌入的方式相同， $D'_{i,j}$ 為藏入後的預測誤差值、 $P'_{i,j}$ 為已藏入機密訊息的像素值，計算方式如下：

$$D'_{0,1} = P'_{0,1} - \left\lfloor \frac{P'_{0,0} + P'_{0,2}}{2} \right\rfloor = 4 - \left\lfloor \frac{4+6}{2} \right\rfloor = -1;$$

以此類推，其結果如表10所示。目前高點和零點為(Hblack, Zblack) = (0, 2)、(Hwhite, Zwhite) = (0, 3)。根據白色區塊的Hblack即可取出機密訊息II，表10內的(高點)以及(高點+1)部分為藏有機密訊息的像素位置，其方法為：

若預測誤差值=高點時，取出機密訊息0；
若預測誤差值=高點+1時，取出機密訊息1；

表 10 白色區塊預測誤差值

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

所以機密訊息II = 1010(2)。然後，還原白色區塊的預測誤差值，結果如表11，其中某些部分有變動者需要還原數值。還原方式如下：

將區間[Hwhite + 1, Zwhite - 1]之間的數值向左位移一個位置，還原位移前的白色區塊像素值

然後將每個白色區塊的預測誤差值做反預測的運算，其中 $P_{i,j}$ 為原始像素值、 $D_{i,j}$ 為預測誤差值、 $P'_{i,j}$ 為已藏入機密訊息的像素值，計算如下：

$$P_{0,1} = D_{0,1} + \left\lfloor \frac{P'_{0,0} + P'_{0,2}}{2} \right\rfloor = -1 + \left\lfloor \frac{4+6}{2} \right\rfloor = 4;$$

以此類推可得到白色區塊還原後的影像如表12，此時已取出和復原白色區塊的部份。

表 11 還原白色區塊的預測誤差值

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

表 12 還原白色區塊的影像

4	4	6	6	5
4	5	5	6	4
5	5	5	4	6
4	4	6	5	3
7	5	5	4	4

接著，利用表12對黑色區塊做預測編碼，預測方法和嵌入演算法的方式相同，其中 $P_{i,j}$ 為原始像素值、 $D'_{i,j}$ 為藏入後的預測誤差值、 $P'_{i,j}$ 為已藏入機密訊息的像素值，計算方式如下：

$$D'_{0,0} = P'_{0,0} - P_{0,1} = 4 + 4 = 0;$$

$$P'_{0,2} = D'_{0,2} + \left\lfloor \frac{P_{0,1} + P_{0,3}}{2} \right\rfloor = 6 + \left\lfloor \frac{4+6}{2} \right\rfloor = 1;$$

得出結果如表13。高點與零點為(Hblack, Zblack) = (0, 2)。根據黑色區塊的Hblack即可取出機密訊息I，表13內的(高點)以及(高點+1)部分為藏有機密訊息的像素位置，其方法如下：

若預測誤差值=高點時，取出機密訊息0；

若預測誤差值=高點+1時，取出機密訊息1。

所以機密訊息I = 011100110001(2)。接著還原黑色區塊的預測誤差值，結果如表14，其中某些部分有變動者需要還原數值。還原方式如下：

將區間[Hblack + 1, Zblack - 1]之間的數值向左位移一個位置，還原位移前的黑色區塊像素值。最後將每個黑色區塊的預測誤差值做反預測的運算，其中 $P_{i,j}$ 為原始像素值、 $D_{i,j}$ 為預測誤差值，

計算方式如下：

$$P_{0,0} = D_{0,0} + P_{0,1} = 0 + 4 = 4;$$

$$D_{0,2} = P_{0,2} + \left\lfloor \frac{P_{0,1} + P_{0,3}}{2} \right\rfloor = 1 + \left\lfloor \frac{4+6}{2} \right\rfloor = 6;$$

以此類推，可得到黑色區塊還原後的影像如表15，得出之影像即為原始影像。

最後所取出的機密訊息：

機密訊息I + 機密訊息II =

01101110(2) + 1010(2) = 011011101010(2)。

表 13 黑色區塊預測誤差值

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

表 14 還原黑色區塊預測誤差值

0	4	0	6	-1
4	0	5	1	4
0	5	0	4	1
4	-1	6	0	3
1	5	0	4	0

表 15 原始影像

4	4	5	6	5
4	4	5	5	4
5	5	4	4	5
4	4	6	4	3
6	5	4	4	4

4、實驗結果

為驗證本方法的效能，我們設計了系列的實驗，並且與Ni 等學者的方法做比較。本實驗中，我們使用了四張512 × 512大小的灰階影像，分別為Airplane、Baboon、Boat、Lena。

表16 列出本論文的方法與Ni 等學者的方法之實驗數據，其中資訊嵌入量的單位為位元。由表中可以發現，在資訊嵌入量上，比Ni 學者大約多了3 至10 倍，在影像品質上也維持同樣或較高的水平。

表17列出全區偵測和我們的方法做比較，我們的方法可以視為將全圖分成兩個塊，再去做隱藏的方法，所以提出來和全區偵測做比較，因為總藏入量是一樣的，但是在影像品質上我們的方法會比全區偵測的方法高一點。

圖8顯示原始影像與偽裝影像的視覺比較，由圖8中可知，一般的人類視覺系統並不容易判別偽裝影像的前後差異。

表 16 Ni和本方法的實驗結果

影像	Ni學者的方法		我們的方法	
	資訊負載量	PSNR	資訊負載量	PSNR
Airplane	16171	48.30	51440	49.82
Baboon	5421	48.20	21502	50.56
Boat	7301	48.20	28466	50.74
Lena	5046	48.20	56540	49.82
Average	8484	48.22	39478	50.22

表17 全區偵測與本方法的實驗結果

影像	全區偵測		我們的方法	
	資訊負載量	PSNR	資訊負載量	PSNR
Airplane	51440	49.32	51440	49.82
Baboon	21502	50.43	21502	50.56
Boat	28466	50.56	28466	50.74
Lena	56540	49.65	56540	49.82
Average	39478	50.00	39478	50.22

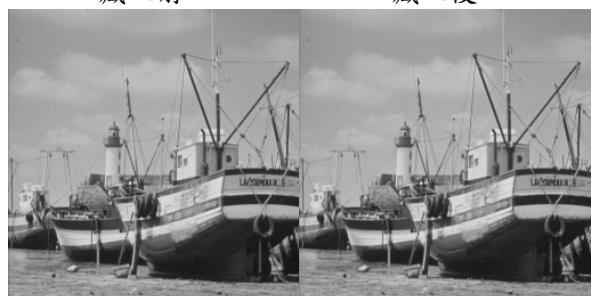
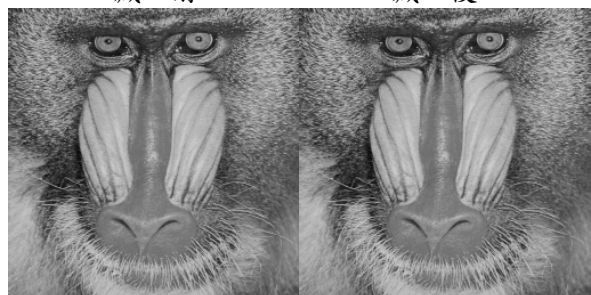


圖 8 原始影像與偽裝影像

5、結論

在本論文中，我們使用交錯式預測編碼的方法來強化直方圖式的無失真資訊隱藏技術，從實驗結果可以發現，我們不僅擁有很高的資訊嵌入量，在影像的品質上也維持得很好。不過這種方法還是只有在空間域上做改變，對於攻擊的強韌性還有待進一步的增強，這也是我們未來的研究重點；交錯式預測的方式有很多種，本論文採用黑白棋盤的交錯方式，其他還有很多種交錯方式，也是未來進一步實驗與研究的方向。

參考文獻

- [1] 葉秀蓮, "植基於預測編碼之可回復式資訊隱藏技術", 碩士論文, 靜宜大學資訊管理學系, 2007。指導教授胡育誠博士
- [2] E. Chrysoschos, V. Fotopoulos, A. Skodras and M. Xenos, "Reversible Image Watermarking Based on Histogram Modification", **11th Panhellenic Conference on Informatics (PCI 2007), Patras, Greece**, Vol. B, pp. 93-104, 18-20 May 2007.
- [3] M. Diljith and J. Jeffrey, "Expansion Embedding Techniques for Reversible Watermarking," **IEEE Trans. on Image Processing**, Vol. 16, No. 3, March 2007.
- [4] A. Leest, M. Veen, and F. Bruekers, "Reversible Image Watermarking," in **IEEE International Conference on Image Processing**, Vol. 2, pp. 731-734, Sep. 2003.
- [5] 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.3382-3591, May 2008.
- [6] Z. Ni, Y. Shi, N. Ansari, and W. Su, "Reversible data hiding," **IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology**, Vol.16, No.3, pp.354-362, March 2006.
- [7] S. Yousefi, H.R. Rabiee, E. Yousefi, M. Ghanbari, "Reversible Data Hiding Using Histogram Sorting and Integer Wavelet Transform," in **Digital EcoSystems and Technologies Conference (IEEE DEST)**, Cairns, Australia, pp.487-490, Feb. 2007.
- [8] L. Yang, P. Hao and C. Zhang, "Progressive Reversible Data Hiding by Symmetrical Histogram Expansion with Piecewise-Linear Haar Transform", in **IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP)**, Vol. 2, pp. 265-268, April 2007.

