

植基於邊緣偵測法及鏡射三角定位概念之資訊隱藏技術

呂慈純*
朝陽科技大學
資訊管理系副教授
tclu@cyut.edu.tw

冷輝世¹
朝陽科技大學
資訊管理系研究生
cyut9933901@gmail.com

黃俊智²
朝陽科技大學
資訊管理系研究生
opo1211@gmail.com

摘要

現行資訊隱藏方法中有一類技術是利用影像插值概念，將影像放大成為預測影像，其作法是在兩兩像素間插入一個預測像素，並且將機密訊息嵌入預測像素中。此類技術能夠巧妙的在影像放大的同時，將機密訊息嵌入，達到高藏量的目的，而且訊息取出後，再將插入的像素刪除即可還原原始影像。Jung 和 Yoo 學者於 2009 年提出以鄰近像素值平均值做為預測值的方法，提出影像內插隱藏技術，其後 Lee 和 Huang 學者改良 Jung 和 Yoo 的方法，利用相鄰像素插值法提高藏入量。然而，Lee 和 Huang 的方法會有很嚴重的鋸齒狀效應，因此本篇論文將利用可以減少邊緣效應的中間邊緣偵測法(Median Edge Detector, MED)及鏡射三角形方位法，提出一個改善 Lee 和 Huang 學者影像品質的技術。實驗結果顯示，所提方法能有效改善 Lee 和 Huang 學者的影像品質，藏入量也較其他學者高。

關鍵詞：中間邊緣偵測法、鏡射三角定位、資訊隱藏、內插法。

1. 前言

資訊隱藏技術利用偽裝技巧將機密訊息藏在媒體內容中，從而保護機密訊息不被竊取[1]。現行資訊隱藏技術中有一類技術是先將原始影像利用預測規則[3]，如內插法將影像放大成預測影像，並且在放大的過程中，將機密訊息藏於擴張的像素中，例如 Jung 和 Yoo 學者提出的影像插值法，是非常具代表性的方法，其作法是先將原始影像進行放大，即在任兩個像素間插入一個預測像素，預測像素填入的數值為兩個像素的平均值，新產生的影像稱為預測影像[2]。Jung 和 Yoo 利用預測像素與原始像素的差距計算可以藏入的位元數，將可藏入的機密位元轉成十進制後，與預測像素相加，即可得到偽裝影像。其後 Lee 和 Huang 學者提出

了一個改良 Jung 和 Yoo 學者的機制，他們發現使用平均值做為預測值的作法所得到的藏入量並不高，因此提出了一個新的預測方法，稱為相鄰像素插值法，使得可藏入的位元數增多[4]。然而 Lee 和 Huang 學者提出的方法，在預測邊緣像素時會有很嚴重的鋸齒狀效果，因此本研究擬針對 Lee 和 Huang 的方法進行改良，利用可以減少邊緣效應的中間邊緣偵測法(Median Edge Detector, MED)，改善 Lee 和 Huang 學者方法在邊緣區域上的預測差異。

本文將於第二節介紹 Jung 和 Yoo 學者及 Lee 和 Huang 學者之方法，第三節介紹本研究利用 MED 預測方式提出之影像差值技術，第四節比較本研究與 Jung 和 Yoo 學者與 Lee 和 Huang 學者實驗之結果，最後為結論。

2. 文獻探討

2.1 Jung 和 Yoo 學者之方法

Jung 和 Yoo 學者於 2009 年提出一個新的影像插值法(Neighbor Mean Interpolation, NMI)與資訊隱藏方法[2]，該方法之流程如圖 1 所示。藏入方法先將原始影像如圖 1(a)進行放大得到預測影像，如圖 1(b)，再進行藏入，得到偽裝影像如圖 1(c)。接收方在收到偽裝像素後，從中取出機密訊息，再將影像縮小，即可得到原始影像。他們的放大示意圖如圖 2 所示，圖 2(a)為 4 個原始像素，任兩個像素中會插入一個像素，如 $I(0,0)$ 與 $I(0,1)$ 中間插入 $P(0,1)$ 像素，放大結果如圖 2(b)所示。 $P(i,j)$ 的放大規則使用影像差值法 NMI。

影像差值法 NMI 的計算方式是利用相鄰兩個像素的平均值作為像素預測值，其公式如下：

$$P(i, j) = \begin{cases} (I(i, j-1) + I(i, j+1)) / 2, & \text{if } i = 2m, j = 2n+1, \\ (I(i-1, j) + I(i+1, j)) / 2, & \text{if } i = 2m+1, j = 2n, \\ (I(i-1, j-1) + P(i-1, j) + P(i, j-1)) / 3, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (1)$$

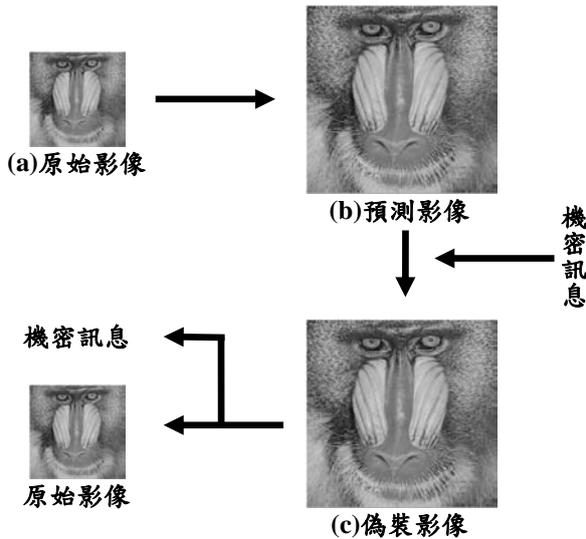


圖 1 Jung 和 Yoo 學者提出之方法流程圖

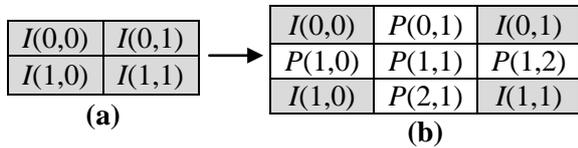


圖 2 原始影像與預測影像放大示意圖

其中公式(1)中的 m 與 n 為原始影像的長寬，而 i 與 j 為預測影像的長寬，我們以一個例子來說明，令 $I(0,0)=148$ 、 $I(0,1)=156$ 、 $I(1,0)=144$ 及 $I(1,1)=150$ ，機密訊息 s 為 "101"，利用公式(1)我們可以依序計算出預測像素 $P(0,1)=(I(0,0)+I(0,1))/2=(148+156)/2=152$ ， $P(1,0)=(I(0,0)+I(1,0))/2=(148+144)/2=146$ ，以此類推，如圖 3。

148	$P(0,1)$	156
$P(1,0)$	$P(1,1)$	$P(1,2)$
144	$P(2,1)$	150

圖 3 NMI 影像插值法計算範例

中間的預測值 $P(1,1)$ 則是使用預測像素值 $P(1,0)$ 、 $P(1,2)$ 及原始像素 $I(0,0)$ 三個像素進行預測， $P(1,1)=(I(0,0)+P(1,0)+P(1,2))/3=(148+146+153)/3=148$ 。接著，將機密訊息 s 藏於 $P(0,1)$ 、 $P(1,0)$ 及 $P(1,1)$ 三個像素位置，進行藏入時，利用公式(2)取得各個位置的差異值 d ，即預測值減掉最左上角的 $I(0,0)$ 值，分別將三個 d 值取 \log 及下限得到 n 值， n 代表三個像素可以藏入多少位元的機密訊息，接著將每個像素所能藏入之二進制機密訊息位元取出，將該機密訊息轉為十進制機密符號 b ，將 b 與預測像素值進行相加，即可完成藏入動作，其藏入流程如圖 4 所示。

$$\begin{aligned}
 d_1 &= P(0,1) - I(0,0) \\
 d_2 &= P(1,0) - I(0,0) \\
 d_3 &= P(1,1) - I(0,0)
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

以 $P(0,1)$ 為例， $P(0,1)$ 與 $I(0,0)$ 的差異值 $d=152-148=4$ ，將 d 取 \log 得到 $n=\lfloor \log_2(4) \rfloor=2$ ，表示可藏入 2 個位元，將 2 個機密位元 $s=(10)_2$ 轉成十進制得到 $b=(10)_2=(2)_{10}$ ，將預測值與 b 相加得到偽裝影像 $P'(0,1)=P(0,1)+b=152+2=154$ 。

148	152	156
146	148	153
144	147	150

$$\begin{aligned}
 d_1 &= 152 - 148 = 4, n_1 = \lfloor \log_2(4) \rfloor = 2 \\
 d_2 &= 146 - 148 = -2, n_2 = \lfloor \log_2(2) \rfloor = 1 \\
 d_3 &= 148 - 148 = 0, n_3 = \lfloor \log_2(0) \rfloor = 0 \\
 b_1 &= (10)_2 = (2)_{10}, b_2 = (1)_2 = (1)_{10} \\
 b_3 &= \text{不藏入} \\
 P'(0,1) &= P(0,1) + b_1 \\
 &= 152 + 2 = 154 \\
 P'(0,1) &= P(0,1) + b_2
 \end{aligned}$$

148	154	156
147	148	153
144	147	150

圖 4 Jung 和 Yoo 學者之藏入方法範例

取出前，利用相同的預測方法對偽裝影像 P' 進行預測，得到藏入前預測影像 P ，將偽裝影像與預測影像相減， $b=P'-P$ ，即可得到當時藏入的十進制機密符號，因 b 的位元數不同，故利用相同的計算方式計算出每個位置的藏入位元數 n ，再將得到的 b 轉換成 n 個位元數即為二進制之機密訊息。

其後，Lee 和 Huang 學者發現 Jung 和 Yoo 學者藏入時利用固定的像素值進行差異計算，得到藏入的位元數，此機制導致藏入的機密訊息量不多，因此 Lee 和 Huang 學者提出了一個新的預測方法以及藏入方式，有效的提高了機密訊息的藏入量與影像品質。

2.2 Lee 和 Huang 學者之方法

Lee 和 Huang 學者以 Jung 和 Yoo 學者所提出之方法進行改良，並於 2012 年提出了一個新的預測方法，相鄰像素插值法 (Interpolation by Neighboring Pixels, INP)[4]，該方法利用相鄰的像素值進行預測，預測之公式如公式(3)所示。

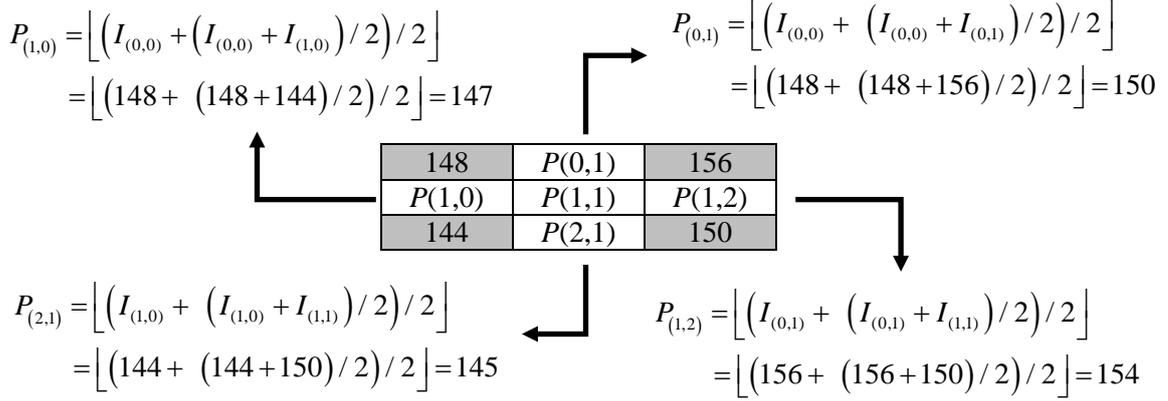


圖 5 INP 影像插值法計算範例

$$P(i, j) = \begin{cases} (I(i, j-1) + (I(i, j-1) + I(i, j+1))/2) / 2, & \text{if } i = 2m, j = 2n + 1, \\ (I(i-1, j) + (I(i-1, j) + I(i+1, j))/2) / 2, & \text{if } i = 2m + 1, j = 2n, \\ (P(i-1, j) + P(i, j-1)) / 2, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (3)$$

我們以一個例子來說明，其中 $I(i, j)$ 為像素值， $P(i, j)$ 為預測值。令 $I(0, 0)=148$ 、 $I(0, 1)=156$ 、 $I(1, 0)=144$ 及 $I(1, 1)=150$ ，機密訊息 s 為 "10110"，利用公式(3)我們可以依序計算出 $P(0, 1)=(I(0, 0)+(I(0, 0)+I(0, 1))/2)/2=(148+(148+156)/2)/2=150$ ，其他以此類推，如圖 5 所示。

中間的預測值則是使用預測像素值 $P(0, 1)$ 及 $P(1, 0)$ 的平均值作為他的預測值， $P(1, 1)=(P(0, 1)+P(1, 0))/2=(150+147)/2=148$ 。取得預測影像後，開始進行藏入之方法。在藏入機密訊息前，必須先計算出一個不會隨意變動的數值 B ，Lee 和 Huang 學者利用預測值的角落像素最大值做為 B 值，公式如下所示：

$$B = \max \{I(0, 0), I(0, 1), I(1, 0), I(1, 1)\} \quad (4)$$

取得 B 值之後，利用 $P(0, 1)$ 、 $P(1, 0)$ 及 $P(1, 1)$ 這三個位置進行藏入的動作。首先，將 $P(0, 1)$ 、 $P(1, 0)$ 及 $P(1, 1)$ 與 B 值進行相減，計算出 d_1 、 d_2 以及 d_3 ，即 $d_1=B-P(0, 1)=156-150=6$ ， $d_2=B-P(1, 0)=156-147=9$ ， $d_3=B-P(1, 1)=148-148=0$ 。將三個 d 值計算出來後，分別將三個數值取 \log 及下限，此即為三個像素所能藏入機密訊息的最大數量， $n_1=\lfloor \log_2(6) \rfloor=2$ ， $n_2=\lfloor \log_2(9) \rfloor=3$ ， $n_3=\lfloor \log_2(0) \rfloor=0$ 。分別將每個像素所能藏入之二進制機密訊息位元取出，將該機密訊息轉為十進制成為機密符號 b ，與該預測像素值進行相加，即可完成藏入之動作，若 n 值為 0 則不進行藏入，例如若 $b_1=(10)_2=(2)_{10}$ ， $b_2=(110)_2=(6)_{10}$ ，則 $P'(0, 1)=P(0, 1)+b_1=150+2=152$ ， $P'(1, 0)=P(1, 0)+b_2=147+6=153$ 。

取出前，利用相同預測方法對偽裝影像 P' 進行預測，得到藏入前之預測影像 P ，將偽裝影像與預測影像作相減之動作， $b=P'-P$ ，即可算出當時所藏入之十進制機密訊息，因 b 的位元數不同，故在計算藏入之十進制機密訊息後，必須計算 b 是由多少二進制位元構成的。我們可以利用公式(4)計算出 B 值，將 B 值分別與預測影像 $P(0, 1)$ 、 $P(1, 0)$ 及 $P(1, 1)$ 進行相減，得到 d_1 、 d_2 以及 d_3 ，再將三個數值取 \log 及下限，即可得到 b 的位元數 n ，再將 b 轉成 n 個位元數即為二進制之機密訊息。

Lee 和 Huang 學者的插值擴張方法使用兩兩像素平均值進行運算，此方法在預測邊緣時會造成很大的困擾，形成鋸齒狀結果。因此本研究採用 Martucci 學者所提出的中間邊緣偵測法(Median Edge Detector, MED)改善 Lee 和 Huang 學者在預測上的缺失。

2.3 中間邊緣偵測法

Martucci 學者於 1990 年提出一個用來預測像素的預測方法 [5]。中間邊緣偵測法 MED，該方法在邊緣明顯的影像中有較好的預測效果。MED 每次進行預測時皆以 2×2 之區塊進行預測，假設預測像素值為 x ，與 x 之相鄰像素值分別為 a 以及 b ，非相鄰之像素值為 c ，如圖 6 所示，預測值的計算公式如下：

$$P(i, j) = \begin{cases} \min(a, b), & \text{if } c \geq \max(a, b), \\ \max(a, b), & \text{if } c \leq \min(a, b), \\ a + b - c, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (5)$$

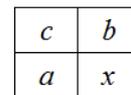


圖 6 MED 變數關係圖

Martucci 的方法預測效果很好，因此有許多研究都是以它為基礎，本論文在預測部分也是採用 Martucci 提出的方法進行改良。

3. 研究方法

本研究改進 Lee 和 Huang 學者的資訊隱藏方法，利用 Martucci 學者的中間邊緣偵測法 MED 概念進行影像像素預測，每次預測以 3x3 區塊為單位進行預測，並將機密訊息嵌入，當區塊完成預測及嵌入後向右位移兩個像素進行下一輪的預測及嵌入，以此類推，即可獲得偽裝影像。詳細的預測方法將於第 3.1 章中進行說明，第 3.2 章中將詳細介紹本篇方法所使用的嵌入與提取方法。

3.1 預測方法

本研究發現，Lee 和 Huang 學者的方法在預測邊緣或區塊時效果並不好，因此本研究結合 MED 概念進行影像預測，於線條明顯的區塊中有較佳的結果。

所提方法先將原始影像進行放大，得到預測影像，原始影像先切割成數個 2x2 大小的區塊，每個區塊放大成 3x3 預測區塊，示意圖如圖 7 所示，我們以一個例子說明，如圖 8。圖 8(a) 中原始像素值 148, 156, 144, 132 分別置於圖 8(b) 的角落位置，中間的值 $P(0,1)$, $P(1,0)$, $P(1,1)$, $P(1,2)$, $P(2,1)$ 即是我們要預測的值。

不同位置預測值，使用不同的參考像素進行預測，本研究採用鏡射三角形的位置分別算出兩個暫時預測值 \hat{P}_1 和 \hat{P}_2 ，參考值位置示意圖。如圖 9 所示。

以 $P(0,1)$ 為例 \hat{P}_1 的參考位置為 $I(0,0)$, $I(0,1)$ 及 $I(1,0)$ 的位置，而 \hat{P}_2 的參考位置為 $I(0,0)$, $I(0,1)$ 及 $I(1,1)$ 。如圖 10 所示。

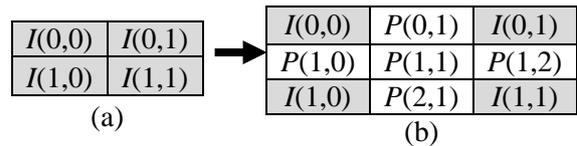


圖 7 原始區塊放大示意圖

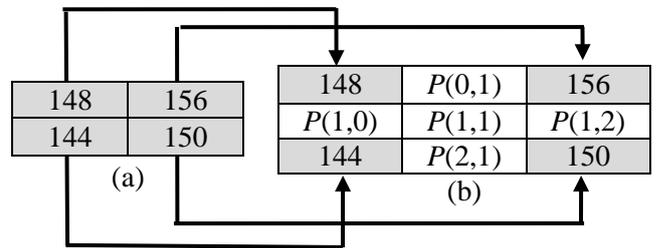


圖 8 預測影像與原始影像像素值關係圖範例

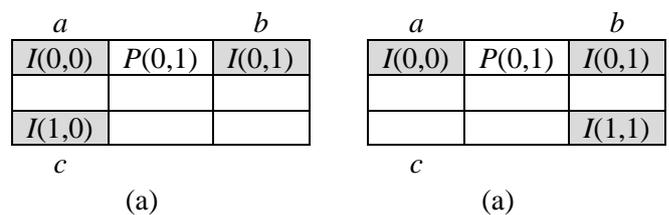


圖 10 $P(0,1)$ 的參考位置

將此三個位置視為 MED 方法中的 a 、 b 及 c 三個值進行預測。與預測值不相鄰的參考值設為 c ，而與預測值相鄰的參考值依掃描順序分別為 a 及 b 。以圖 10(a) 為例， $I(1,0)$ 與 $P(0,1)$ 不相鄰故為 c ，而 $I(0,0)$ 因掃描順序先於 $I(0,1)$ 故 $I(0,0)$ 為 a ，而 $I(0,1)$ 為 b ；圖 10(b) 的 $I(1,1)$ 與 $P(0,1)$ 不相鄰故為 c ，而 $I(0,0)$ 和 $I(0,1)$ 分別為 a 和 b 。

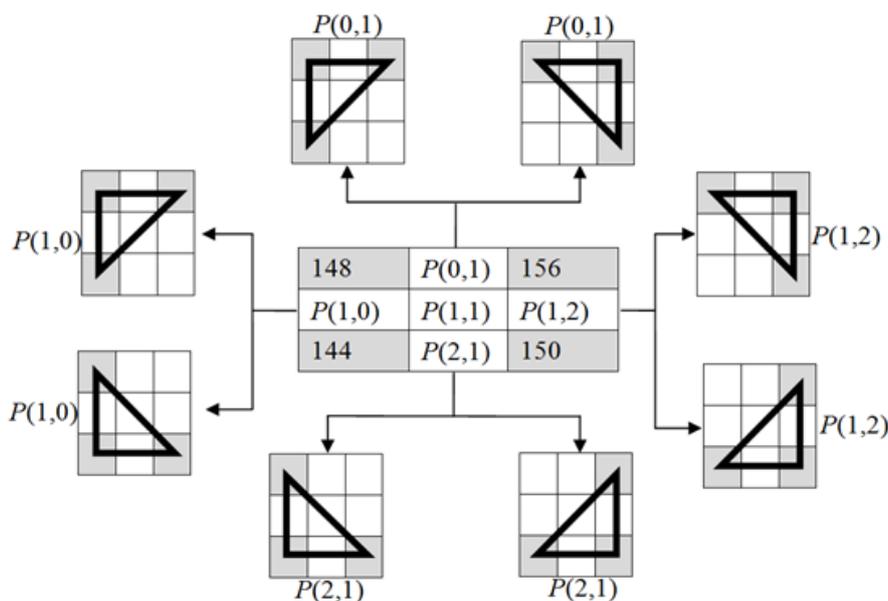
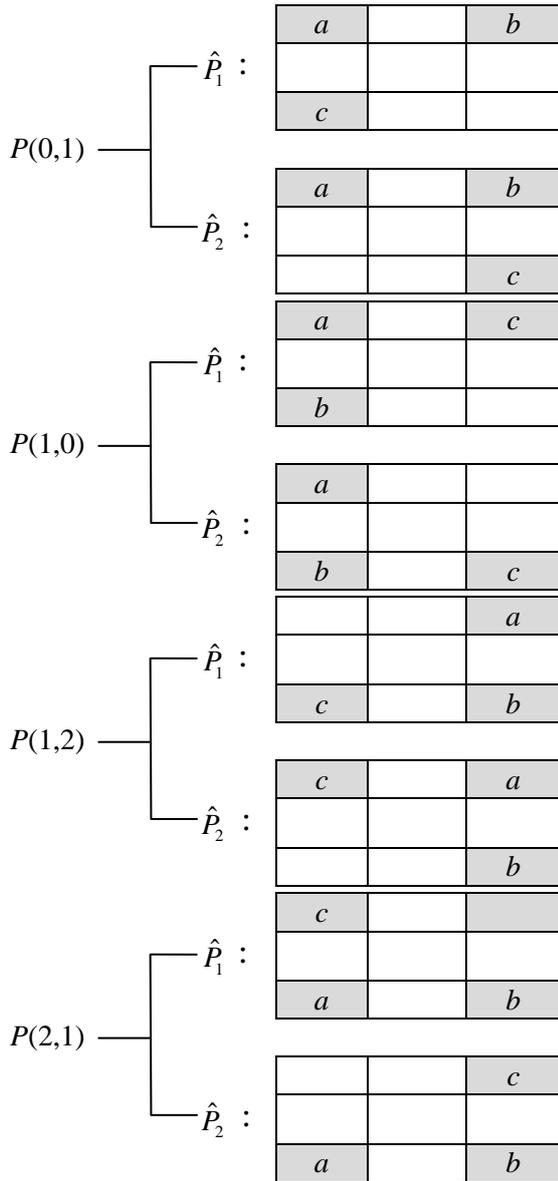


圖 9 參考值示意圖

我們可以彙整得到不同位置的參考值如下：



接著找出原始區塊中最大的像素值作為比對基準，令 $\text{Max}=\max\{I(0,0), I(0,1), I(1,0), I(1,1)\}$ 為區塊最大值。每個暫時預測值分別跟 Max 進行比較，以求得 \hat{P}_1 或 \hat{P}_2 何者較適合做為預測值。公式如下所示：

$$P(i,j) = \begin{cases} \hat{P}_1, & \text{if } |\text{max} - P_1| > |\text{max} - P_2|, \\ \hat{P}_2, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (6)$$

以圖 8 為例， $P(0,1)$ 的暫時預測值 \hat{P}_1 其參考值 $a=148, b=156, c=144$ ； \hat{P}_2 其參考值為 $a=148, b=156, c=150$ 。利用 MED 可以得知 $\hat{P}_1 = \max(a,b) = \max(148,156) = 156$ ，因為 $c \leq \min(a,b)$ ； $\hat{P}_2 = a+b-c = 148+156-150 = 154$ ，因為 c 介於 a 與 b 之間。接著找出原始區塊中像素最大

的值為 $\text{Max}=156$ ，利用公式(3)可知 $P(0,1) = \hat{P}_2 = 154$ ，因為 $|\text{Max} - \hat{P}_1| = |156 - 156| < |\text{Max} - \hat{P}_2| = |156 - 154|$ 。

中間預測值的計算方式則是以 4 個暫時預測值進行比較 $\hat{P}_1, \hat{P}_2, \hat{P}_3$ 和 \hat{P}_4 ，暫時預測值的參考位置如圖 11 所示。

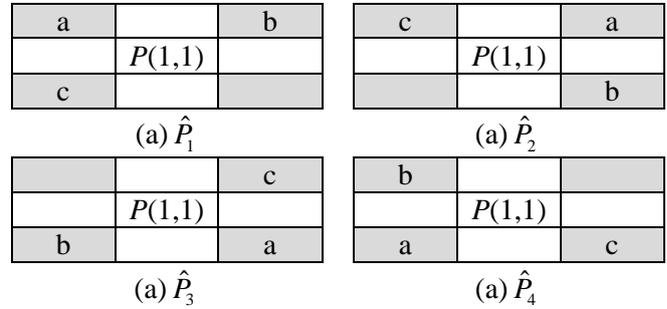


圖 11 中間預測值得參考位置

以圖 11(a) 為例，暫時預測值 \hat{P}_1 的參考位置為 $a=I(0,0), b=I(0,1), c=I(1,0)$ ；以此類推。延續圖 8 的例子 \hat{P}_1 的參考值為 $a=I(0,0)=148, b=I(0,1)=156, c=I(1,0)=144$ 。接著從 4 個暫時預測值中找一個最佳的預測值， $\hat{P}_{\max} = \text{Index}(\max\{|\text{B} - \hat{P}_1|, |\text{B} - \hat{P}_2|, |\text{B} - \hat{P}_3|, |\text{B} - \hat{P}_4|\})$ ，即暫時預測值與 B 的差距最大者的原始值。中間預測值 $P(1,1)$ 即為 \hat{P}_{\max} 。以圖 8 為例， $\hat{P}_1 = \text{Max}(a,b) = \text{Max}(148,156) = 156, \hat{P}_2 = \text{Max}(a,b) = \text{Max}(156,150) = 156, \hat{P}_3 = \text{Min}(a,b) = \text{Min}(150,144) = 144, \hat{P}_4 = \text{Min}(a,b) = \text{Min}(144,148) = 144$ 。區塊像素最大值 $\text{Max}=156$ ，因此 $\hat{P}_{\max} = \text{Index}(\max\{|156-156|, |156-156|, |156-144|, |156-144|\})$ ，故 $P(1,1) = \hat{P}_{\max} = 144$ 。

3.2 嵌入與提取

接著將機密訊息藏於預測影像 P 之中，如圖 12 所示。Lee 和 Huang 學者所提出之藏入方法可以達到最大化的藏入機密訊息，因此本研究之藏入方法將利用 Lee 和 Huang 學者所提出之藏入方法進行藏入之動作。在此範例中假設機密訊息為 $s=(1101010)_2$ 。

148	155	156
144	144	156
144	144	150

圖 12 預測影像 P

首先，利用公式(4)計算出角落像素最大值 B 值，接著將藏入區塊 $P(0,1), P(1,0)$ 及 $P(1,1)$ 與 B 值進行相減，計算出 d_1, d_2 以及 $d_3, d_1 = |156-154|=2, d_2 = |156-144|=12, d_3 = |156-144|$

=12。將三個 d 值計算出來後，分別將每個 d 值取 \log 及下限取得 n 值，得到的 n 值即為三個像素所能藏入機密訊息的最大數量， $n_1 = \lfloor \log_2(2) \rfloor = 1$ ， $n_2 = \lfloor \log_2(12) \rfloor = 3$ ， $n_3 \lfloor \log_2(12) \rfloor = 3$ 。再將該區塊所能藏入之二進制機密訊息數量取出，並將該機密訊息轉為十進制，與預測值進行相加，即可完成藏入之動作，如圖 13 所示。 $b_1=(1)_2=(1)_{10}$ ， $b_2=(101)_2=(5)_{10}$ ， $b_3=(010)_2=(2)_{10}$ ； $P'(0,1)=P(0,1)+b_1=154+1=155$ ， $P'(1,0)=P(1,0)+b_2=144+5=149$ ， $P'(1,1)=P(1,1)+b_3=144+2=146$ 。

148	155	156
149	146	156
144	144	150

圖 13 偽裝影像 P'

再取出前，先將偽裝影像 P' 依照 3.1 節中所提之預測方法得到預測影像。接著將偽裝影像與預測影像作相減之動作，即可算出當時所藏入之十進制機密訊息。將機密訊息提取出來後，必須計算出當時 b 為幾個二進制位元。首先利用公式(4)，計算出 B 值。而後將 B 值分別與預測影像 $P(0,1)$ 、 $P(1,0)$ 及 $P(1,1)$ 進行相減，分別計算出 d_1 、 d_2 以及 d_3 ，分別將三個數值取 \log 及下限，即可得到 b 的位元數 n ，再將 b 轉換成 n 個位元數即為二進制之機密訊息。

4. 實驗結果

本研究利用 6 張大小為 512×512 的 8 位元灰階影像進行實驗，並且與 Lee 和 Huang 學者之方法以及 Jung 和 Yoo 學者之方法進行比較，圖 8 為本研究中所使用的 6 張原始影像。表 1 為本研究提出方法與 Lee 和 Huang 學者以及 Jung 和 Yoo 學者之預測影像比較，由此表可以發現，所提方法預測出來的影像與其他學者相比差距較大。表 2 則為藏入後偽裝影像 PSNR 值與 BPP 比較結果，從表 2 中可以看到所提方法影像藏入量高於其他學者，而影像品質較藏入前的預測影像來的高，相較於 Jung 和 Yoo 學者的方法，所提方法的藏入量大約是 Jung 和 Yoo 學者的 3 倍，PSNR 值只會減少約 1dB。與 Lee 和 Huang 學者相比，所提方法大約可提升 1 倍的藏入量，PSNR 值也是少 1dB 左右。由此可知，所提方法能有效增加藏入量，且減少的影像品質也不會太多。

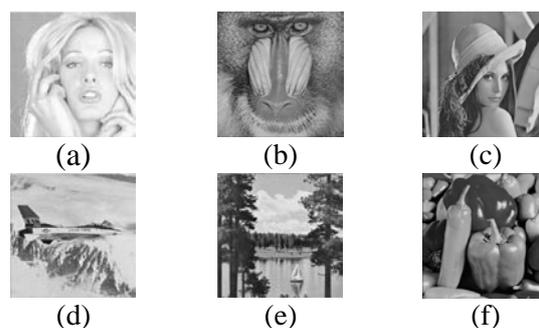


圖 8 實驗用圖(a)Tiffany、(b)Baboon、(c)Lena、(d)Jet、(e)Scene、(f)Peppers

表 1 預測影像之 PSNR 值比較

影像名稱	所提方法	Lee 和 Huang 學者之方法	Jung 和 Yoo 學者之方法
Tiffany	28.78	31.29	30.78
Baboon	21.35	23.50	22.98
Lena	28.24	32.05	31.06
Jet	26.23	29.83	29.19
Scene	25.18	28.26	27.66
Peppers	27.61	30.50	30.03

表 2 偽裝影像之比較

影像名稱	所提方法		Lee 和 Huang 學者之方法		Jung 和 Yoo 學者之方法	
	PSNR	BPP	PSNR	BPP	PSNR	BPP
Tiffany	29.26	0.76	30.16	0.49	30.70	0.15
Baboon	21.72	2.12	22.39	1.66	22.81	0.81
Lena	28.79	0.96	29.70	0.69	30.82	0.26
Jet	26.86	0.92	27.76	0.70	28.96	0.32
Scene	25.43	1.31	26.09	1.02	27.34	0.46
Peppers	27.94	0.87	28.74	0.61	29.85	0.22

5. 結論

本研究改良了 Lee 和 Huang 學者的預測方法，結合了 MED 的預測概念，利用 MED 的特性減少邊緣鋸齒狀，並利用較為不準確的預測值作為預測像素，從而提高影像的藏入量。並且發現到，在不同於 Jung 和 Yoo 學者與 Lee 和 Huang 學者在影像藏入後 PSNR 值都會降低，本方法於影像藏入後 PSNR 值會較藏入前之 PSNR 值高，並且擁有較好的藏入量。

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] Jung, K. H. and Yoo, K. Y., “Data Hiding Method Using Image Interpolation,”

- Computer Standards & Interfaces*, Vol. 31, No. 2, pp. 465-470, 2009.
- [3] Lee, C. F., Chen, H. L. and Tso, H. K., "Embedding Capacity Raising in Reversible Data Hiding Based on Prediction of Difference Expansion," *Journal of Systems and Software*, Vol. 83, No. 10, pp. 1864-1872, 2010.
- [4] Lee, C. F. and Huang, Y. L., "An Efficient Image Interpolation Increasing Payload in Reversible Data Hiding," *Expert Systems with Applications*, Vol. 39, No. 8, pp. 6712-6719, 2012.
- [5] Martucci, S. A., "Reversible Compression of HDTV Images Using Median Adaptive Prediction and Arithmetic Coding," *IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, Vol. 2, pp. 1310-1313, 1990.