

保持邊緣特性的可逆式資訊隱藏

冷輝世

國立彰化師範大學

lenghs@cc.ncue.edu.tw

余奕憲

國立彰化師範大學數學系

s9922117@mail.ncue.edu.tw

曾顯文

朝陽科技大學

hwtseng@cyut.edu.tw

摘要

資訊隱藏技術是透過媒介，例如影像檔、視訊檔、文字檔、聲音檔等將機密訊息藏入，此技術可分為可逆式與不可逆式兩種，可逆式隱藏的主要技術有兩種，一是利用峰值點的直方圖位移技術，另一是利用差值擴張。近年來，許多學者以預測值與原始像素值差值擴張的方法得到很好的成果，如何使預測值更準確，則失真更少，進而提升藏量為本研究的主要目的。

本研究首先介紹 MMED(Modified Median Edge Detect)邊緣檢測法，藉由 MMED 檢測法結合區塊四角預測，經由實驗結果顯示，本研究所提出的方法能有效的提昇藏量與影像品質。

關鍵詞：可逆式資訊隱藏、預測值與像素值差值擴張、MMED。

Abstract

Data hiding is a technique that embed secrets message through the media, such as image files, video files, text files, audio files, etc. The main methods of reversible data hiding include histogram shifting and difference expansion. In recent years, many researchers focus on prediction-based scheme and use difference expansion. How to predict more precisely becomes an important issue. A good prediction method can reduce distortion, enlarge payload and obtain a better result.

In this study, modified median edge detection (MMED) was introduced as the proposed prediction method to reduce distortion, and the embedding area was designed to preserve edge characteristics. The experimental results show that the proposed method achieves higher payload and lower distortion.

Keywords: Reversible data hiding, prediction-based, difference expansion, modified median edge detection.

1. 前言

隨著科技的發展，網際網路縮短了人與人之間的距離，每天都有無數的資訊透過網路傳遞訊息。對於高度機密的資訊，其安全性更受到重視，進而發展出資訊隱藏技術。資訊隱藏技術是透過媒介，例如影像檔、視訊檔、文字檔、聲音檔等將機密訊息藏入，且不易被人所察覺出來。資訊隱藏技術又可分為可逆式與不可逆式，若藏入機密訊息後無法

回復至原始影像稱為不可逆式，可逆式則可回復至原始的影像。相較於不可逆式資訊隱藏，可逆式因為要保留還原的資訊所以藏量較低。近年來，許多學者以預測值與原始像素值差值擴張的方法得到很好的成果，如何使預測值更準確，則失真更少，進而提升藏量為本研究的主要目的。

這些預測方法中，包括 Lee 等學者[1]利用目標像素 x 的鄰近像素 a 、 b (如圖 1)，將 $(a+b)/2$ 作為 x 的預測值，Chuan Qin 等學者[2]利用 x 鄰近像素 a 、 b 、 c ，將 $(a+b+c)/3$ 作為 x 的預測值，以及著名的邊緣預測方法 MED (Median Edge Detect) 等等。在本文中，引用近期冷等學者[4]保留邊緣特性的 MMED 預測法，進而減少預測值與像素值的差值，並提高藏量。

本文其餘的部分安排如下：第二章介紹相關研究，研究方法則在第三章說明，實驗結果在第四章說明，最後是結論。

c	b
a	x

圖 1 目標像素 x 與相鄰像素

2. 相關研究

在本章節中將介紹：MED、MMED 與差值擴張。在底下的小節中，我們定義被預測像素值為 x ，其預測像素值為 \hat{x} ，如圖 1，陰影區域代表是 x 的相鄰像素， a 、 b 、 c 分別為相對位置的像素值。

2.1 MED

Weinberger(2000)[5]所提出的 MED 預測法：假設在原始影像中 a 、 b 、 c 為目標像素 x 的鄰近像素。則其預測值為

$$\hat{x} = \begin{cases} \min(a, b), & \text{if } c \geq \max(a, b) \\ \max(a, b), & \text{if } c \leq \min(a, b) \\ a + b - c, & \text{otherwise} \end{cases}$$

2.2 MMED

冷等學者(2013)[4]提出的保留邊緣特性的 MMED 預測法：假設在原始影像中 a 、 b 、 c 為目標像素 x 的鄰近像素，對於個別的影像特徵可找到一個門檻值 T ，使其預測值在非邊緣區時更為準確。

則其預測值為

$$\hat{x} = \begin{cases} \min(a,b), & \text{if } c \geq \max(a,b) \\ \max(a,b), & \text{if } c \leq \min(a,b) \\ \frac{a+b+c}{3}, & c \in (a,b) \left| c - \frac{a+b}{2} \right| < T, \quad T \in N \\ a+b-c, & \text{otherwise} \end{cases}$$

在此定義中，將目標像素定位在非邊緣區，如果 c 與 $\frac{a+b}{2}$ 的差小於個別的影像特徵找到的門檻值 T ，則預測值可設為 $\frac{a+b+c}{3}$ ，修改後的 MMED 預測值經由數學式證明可減少預測的誤差，且可使單一或區域提高峰值點提高，增加其資訊隱藏的容量，進而判斷影像的特性選擇適用的可逆式資訊隱藏技術。

本研究使用 SIPI 影像資料庫的六張 512x512 灰階影像經由實驗可得到 MMED 的門檻值如表 1：

表 1 實驗圖形的 MMED 門檻值

	MMED Threshold
Tiffany	T=4
Baboon	T=10
Lena	T=3
F16	T=5
Boats	T=9
Peppers	T=5

2.3 差值擴張

Tian 學者(2003)[3]提出差值擴張的方法利用鄰近像素的相關性進行資訊隱藏，假設兩個預測像素分別為 $u=3, v=6$ ，藏入的機密訊息為 $b=(01)_2$ ，首先計算整數平均值 l 及預測像素差值 d

$$l = \left\lfloor \frac{u+v}{2} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{3+6}{2} \right\rfloor = 4$$

$$d = v - u = 6 - 3 = 3$$

接著新的預測像素差值 d' 得如下：

$$d' = 2 \times d + b = 2 \times 3 + 1 = 7$$

最後，利用新的預測像素差值 d' 和整數平均 l 完成嵌入

$$v' = l + \left\lfloor \frac{d'+b}{2} \right\rfloor = 4 + \left\lfloor \frac{7+1}{2} \right\rfloor = 8$$

$$u' = l - \left\lfloor \frac{d'}{2} \right\rfloor = 4 - 3 = 1$$

知道新的預測像素 v', u' ，計算平均數 l' 及預測像素差值 d' ，可取出嵌入資訊且可還原。

$$\text{平均數} : l' = \left\lfloor \frac{u'+v'}{2} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{1+8}{2} \right\rfloor = 4$$

$$\text{像素差值} : d' = v' - u' = 8 - 1 = 7$$

$$\text{嵌入的資訊} : b = d' - \left\lfloor \frac{d'}{2} \right\rfloor \times 2 = 7 - 6 = 1$$

$$\text{原像素差值} : d = \left\lfloor \frac{d'-b}{2} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{7-1}{2} \right\rfloor = 3$$

$$\text{還原後} : v = l' + \left\lfloor \frac{d+b}{2} \right\rfloor = 4 + 2 = 6$$

$$\text{還原後} : u = l' - \left\lfloor \frac{d}{2} \right\rfloor = 4 - 1 = 3$$

在 2010 時，Lee 學者提出了利用預測值與原始像素值的差值進行可逆式隱藏，此方法不僅大大的增加嵌入量，且減少影像的失真。

原始影像為一個 $M \times N$ 的灰階影像圖，定義 $I(x,y)$ 為原始影像某一像素的座標 (x,y) ，被預測像素定義為 $\hat{I}(x,y)$ ， T 代表門檻值，用來控制影像失真，符號 δ 代表原始影像直方圖收縮的距離，且 $\delta = T+1$ ，機密訊息 $s = \{0,1\}$ 。

除了第一行和第一列外，首先以 raster-scan 進行掃描原始影像以得到預測像素 $\hat{I}(x,y)$ ，計算如下：

$$\hat{I}(x,y) = \left\lfloor \frac{I(x-1,y) + I(x,y-1)}{2} \right\rfloor$$

$$\text{差值 } d \text{ 計算如右: } d = \left| I(x,y) - \hat{I}(x,y) \right|$$

在此方法中，差值 d 可能出現兩種情況： $d \leq T$ 和 $d > T$ ，前者可嵌入機密訊息，後者則不能。

嵌入機密訊息：

(1) 如果 $d \leq T$ ，機密訊息藉如下面的式子嵌入：

$$I'(x,y) = \begin{cases} \hat{I}(x,y) + 2 \times d + s, & \text{if } \hat{I}(x,y) \leq I(x,y) \\ \hat{I}(x,y) - 2 \times d - s, & \text{otherwise} \end{cases}$$

(2) 如果 $d > T$ ，則執行下面式子：

$$I'(x,y) = \begin{cases} I(x,y) + \delta, & \text{if } \hat{I}(x,y) \leq I(x,y) \\ I(x,y) - \delta, & \text{otherwise} \end{cases}$$

取出機密訊息：

除了第一行和第一列外，首先以 raster-scan 進行掃描含有機密訊息的影像影像以得到預測像素 $\hat{I}'(x,y)$ ，以及 $I'(x,y)$ 和 $I(x,y)$ 的差值 d'

(1) $d' \leq 2 \times T + 1$ ，機密訊息可被取出，且 $I(x,y)$ 回復如下：

$$s = \text{LSB}(d')$$

$$I(x,y) = \begin{cases} \hat{I}'(x,y) + \left\lfloor \frac{d'}{2} \right\rfloor, & \text{if } \hat{I}(x,y) \leq I'(x,y) \\ \hat{I}'(x,y) - \left\lfloor \frac{d'}{2} \right\rfloor, & \text{otherwise} \end{cases}$$

(2) $d' > 2 \times T + 1$ ， $I(x,y)$ 回復如下：

$$I(x,y) = \begin{cases} \hat{I}'(x,y) - \delta, & \text{if } \hat{I}'(x,y) \leq I'(x,y) \\ \hat{I}'(x,y) + \delta, & \text{otherwise} \end{cases}$$

3. 研究方法

在本章節中將介紹研究方法的嵌入程序、取出程序以及溢位的問題。

在本研究中，利用 MMED 的預測法，將嵌入的範圍限制在的灰色區塊中，如圖 2(a)，且利用鄰近像素對中間像素做預測，如圖 2(b)，此方法可保留邊緣特性並減少預測的誤差，且能使區域峰值點提高，增加資訊隱藏的容量。

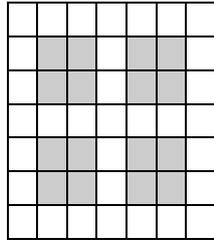


圖 2(a) 機密訊息的嵌入範圍

$I(i-1,j-1)$	$I(i-1,j)$	$I(i-1,j+1)$	$I(i-1,j+2)$
$I(i,j-1)$	$I(i,j)$	$I(i,j+1)$	$I(i,j+2)$
$I(i+1,j-1)$	$I(i+1,j)$	$I(i+1,j+1)$	$I(i+1,j+2)$
$I(i+2,j-1)$	$I(i+2,j)$	$I(i+2,j+1)$	$I(i+2,j+2)$

圖 2(b) 鄰近像素對中間區塊做預測

3.1 嵌入程序

原始影像為一個 $M \times N$ 的灰階影像圖，定義 $I(x,y)$ 為原始影像某一像素的座標 (x,y) ，被預測像素定義為 $\hat{I}(x,y)$ ， T 代表門檻值，用來控制影像失真，符號 δ 代表原始影像直方圖收縮的距離，且 $\delta = T + 1$ ，機密訊息 $s = \{0,1\}$ 。

如圖 2， $I(i,j)$ 、 $I(i,j+1)$ 、 $I(i+1,j)$ 、 $I(i+1,j+1)$ 為被預測像素，

$\hat{I}(i,j)$ 是由左上角的三點鄰近像素透過 MMED 預測而得到；

$\hat{I}(i,j+1)$ 是由右上角的三點鄰近像素透過 MMED 預測而得到；

$\hat{I}(i+1,j)$ 是由左下角的三點鄰近像素透過 MMED 預測而得到；

$\hat{I}(i+1,j+1)$ 是由右下角的三點鄰近像素透過 MMED 預測而得到。

當個區塊的 $\hat{I}(i,j)$ 計算好後，計算 $I(i,j)$ 和 $\hat{I}(i,j)$ 的預測誤差值 d ，計算式如下：

$$d = |I(i,j) - \hat{I}(i,j)|$$

差值 d 可能出現兩種情況： $d \leq T$ 和 $d > T$ ，前者可嵌入機密訊息，後者則不能。

嵌入機密訊息：

(1) 如果 $d \leq T$ ，機密訊息藉如下面的式子嵌入：

$$I'(x,y) = \begin{cases} \hat{I}(x,y) + 2 \times d + s, & \text{if } \hat{I}(x,y) \leq I(x,y) \\ \hat{I}(x,y) - 2 \times d - s, & \text{otherwise} \end{cases}$$

(2) 如果 $d > T$ ，則執行下面式子：

$$I'(x,y) = \begin{cases} I(x,y) + \delta, & \text{if } \hat{I}(x,y) \leq I(x,y) \\ I(x,y) - \delta, & \text{otherwise} \end{cases}$$

以下將用更詳細的例子來說明嵌入程序，以 Tiffany 影像(修改 MED 的 $T=4$)，假設門檻值 $T=4$ ， $\delta = 4 + 1 = 5$ ，機密訊息 $s=1010$ 。

圖 3(a) 為嵌入前像素。

$$\hat{I}_1(2,2) = 78 + 179 - 80 = 177$$

$$\hat{I}_2(2,3) = 177$$

$$\hat{I}_3(3,2) = 177$$

$$\hat{I}_4(3,3) = \lfloor (175 + 177 + 179) / 3 \rfloor = 177$$

預測像素差值分別為：

$$d_1 = |178 - 177| = 1$$

$$d_2 = |177 - 177| = 0$$

$$d_3 = |175 - 177| = 2$$

$$d_4 = |173 - 177| = 4$$

因為 d_1 、 d_2 、 d_3 、 d_4 皆小於門檻值 T ，透過差值擴張，將機密訊息藏入，

$$\hat{I}'_1(2,2) = 177 + 2 \times 1 + 1 = 180$$

$$\hat{I}'_2(2,3) = 177 + 2 \times 0 + 0 = 177$$

$$\hat{I}'_3(3,2) = 177 - 2 \times 2 - 1 = 172$$

$$\hat{I}'_4(3,3) = 177 - 2 \times 4 - 0 = 169$$

嵌入後像素 I' 如圖 3(b)。

	1	2	3	4
1	80	179	175	175
2	78	178	177	177
3	79	175	173	179
4	77	177	175	177

圖 3(a) 嵌入前像素

	1	2	3	4
1	80	179	175	175
2	78	180	177	177
3	79	172	169	179
4	77	177	175	177

圖 3(b) 嵌入後像素

3.2 取出程序

預測像素值 \hat{I}' ，透過由左到右、由上到下的循序掃描得到，預測差值 d' 計算式如下：

$$d' = |\hat{I}'(i, j) - I'(i, j)|.$$

在取出與恢復的階段，主要有兩個判斷式進行取出機密訊息 s 以及恢復原始像素 $I(i, j)$ 。

嵌入機密訊息：

(1) $d' \leq 2 \times T + 1$ 機密訊息可被取出，且 $I(x, y)$ 恢復如下：

$$s = d' \bmod 2.$$

$$I(x, y) = \begin{cases} \hat{I}'(x, y) + \left\lfloor \frac{d'}{2} \right\rfloor, & \text{if } \hat{I}'(x, y) \leq I'(x, y) \\ \hat{I}'(x, y) - \left\lfloor \frac{d'}{2} \right\rfloor, & \text{otherwise} \end{cases}$$

(2) $d' > 2 \times T + 1$ ， $I(x, y)$ 恢復如下：

$$I(x, y) = \begin{cases} \hat{I}'(x, y) - \delta, & \text{if } \hat{I}'(x, y) \leq I'(x, y) \\ \hat{I}'(x, y) + \delta, & \text{otherwise} \end{cases}$$

以下將用更詳細的例子來說明取出機密訊息與恢復原始的程序，以 'Tiffany' 影像 (MMED 取 $T=4$)，假設門檻值 $T=4$ ， $\delta=4+1=5$ ，假設嵌入後的像素如圖 3(b)。

$I'_1(2,2)=180$ ，其預測值 $\hat{I}'_1(2,2)=78+179-80=177$ ，預測誤差 $d'_1=|180-177|=3$ ，因為 $d'_1 \leq 2 \times T + 1 = 5$ ，

機密訊息 $s=3 \bmod 2=1$

原始像素值 $I(2,2)=177+1=178$

$I'_2(2,3)=177$ ，其預測值 $\hat{I}'_2(2,3)=177$ ，預測誤差 $d'_2=|177-177|=0$ ，因為 $d'_2 \leq 2 \times T + 1 = 5$ ，

機密訊息 $s=0$

原始像素值 $I(2,3)=177+0=177$

$I'_3(3,2)=172$ ，其預測值 $\hat{I}'_3(3,2)=177$ ，預測誤差 $d'_3=|172-177|=5$ ，因為 $d'_3 \leq 2 \times T + 1 = 5$ ，

機密訊息 $s=3 \bmod 2=1$

原始像素值 $I(3,2)=177 - \lfloor 5/2 \rfloor = 175$

$I'_4(3,3)=169$ ，其預測值

$\hat{I}'_4(3,3)= \lfloor (175+177+179)/3 \rfloor = 177$ ，預測誤差 $d'_4=|169-177|=8$ ，因為 $d'_4 > 2 \times T + 1 = 5$ ，

機密訊息 $s=8 \bmod 2=0$

原始像素值 $I(3,3)=177 - \lfloor 8/2 \rfloor = 173$

3.3 溢位問題

在嵌入過程中，若像素值發生溢位 (Overflow/Underflow) 問題，則使用 Location Map 的方法，紀錄 x, y 的位置且不藏入機密訊息，再取出的過程中，先判斷是否存在於 Location Map 中，若否再進行取出的動作。

4. 實驗結果

本研究使用 SIPI 影像資料庫的六張 512×512 灰階影像進行測試 (如圖 4)，並使用表 1 的 MMED 門檻：



圖 4 六張測試圖

4.1 MED 與 MMED 差值比較圖

由圖 5-10 各圖的 MMED 與 MED 的差值比較可得知 MMED 可得到較精確的預測值。

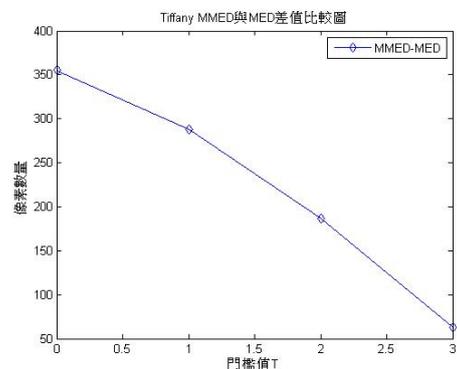


圖 5 Tiffany 圖 MMED 與 MED 的差值比較

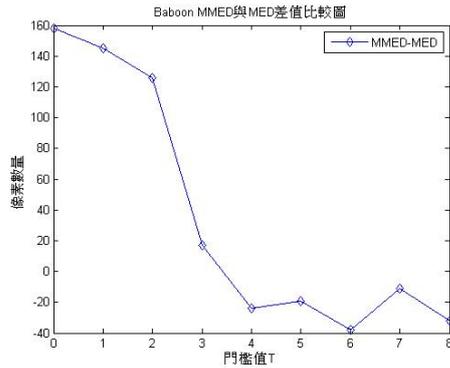


圖 6 Baboon 圖 MMED 與 MED 的差值比較

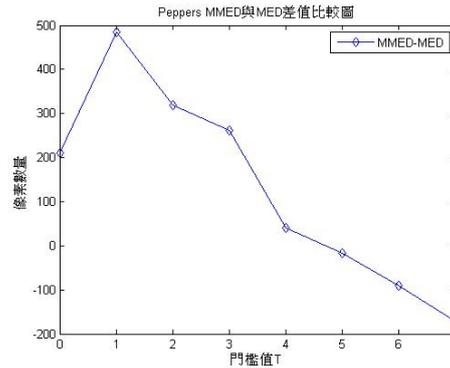


圖 10 Peppers 圖 MMED 與 MED 的差值比較

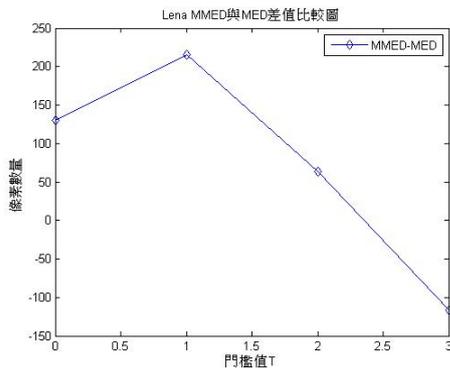


圖 7 Lena 圖 MMED 與 MED 的差值比較

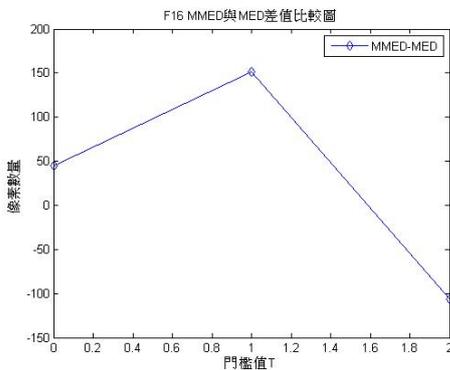


圖 8 F16 圖 MMED 與 MED 差值

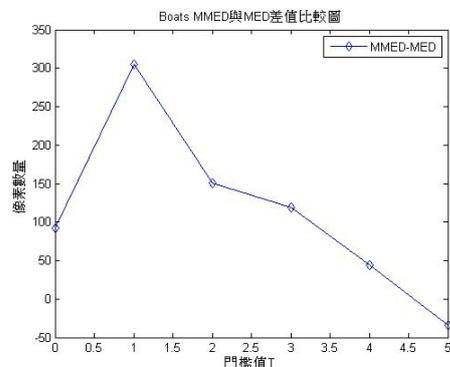


圖 9 Boats 圖 MMED 與 MED 的差值比較

4.2 嵌入效果與品質

由表 2-7 各表的嵌入效果與品質，除表 2 與表 7 有溢位產生時另外計算 Pure Payload，其餘皆無溢位情形。當對偽裝影像品質要求較高時，必須取較小的門檻值，而本研究方法的預測精準度集中於較小的門檻值。在此情況下，本研究方法會有較大的藏入量。

表 2 Tiffany 圖嵌入效果與品質

Tiffany(T=4)		PSNR	Capacity	Payload	溢位	Pure Payload
proposed	T=0	45.83	14116	0.122	318	0.034
MED		45.91	13947	0.120	295	0.038
proposed	T<=1	41.90	39333	0.340	425	0.222
MED		41.89	38946	0.336	456	0.210
proposed	T<=2	40.02	59033	0.510	497	0.373
MED		40.05	58287	0.504	523	0.359
proposed	T<=3	38.74	73636	0.636	646	0.458
MED		38.77	73025	0.631	625	0.458

表 3 baboon 圖嵌入效果與品質

Baboon(T=10)		PSNR	Capacity	Payload
proposed	T=0	41.59	4045	0.034
MED		41.54	4025	0.034
proposed	T<=1	37.45	11889	0.102
MED		37.29	11885	0.102
proposed	T<=2	35.48	19509	0.168
MED		35.36	19361	0.167
Our method	T<=3	34.20	26905	0.232
MED		34.14	26633	0.230

表 4 Lena 圖嵌入效果與品質

Lena(T=3)		PSNR	Capacity	Payload
proposed	T=0	46.98	12301	0.106
MED		46.98	12237	0.105
proposed	T<=1	42.54	34021	0.294
MED		42.55	33733	0.291
proposed	T<=2	40.54	53213	0.460
MED		40.51	52777	0.456

表 5 F16 嵌入效果與品質

F16(T=5)		PSNR	Capacity	Payload
proposed	T=0	45.94	20193	0.174
MED		46.10	19917	0.172
proposed	T<=1	41.29	51505	0.445
MED		41.42	51381	0.444
proposed	T<=2	38.97	70961	0.613
MED		39.04	70765	0.612

表 6 Boats MED 嵌入效果與品質

Boats(T=9)		PSNR	Capacity	Payload
proposed	T=0	44.10	7349	0.063
MED		44.08	7053	0.061
proposed	T<=1	40.04	20605	0.178
MED		40.05	19921	0.172
proposed	T<=2	38.03	32541	0.281
MED		38.04	31673	0.273
proposed	T<=3	36.94	42949	0.371
MED		36.93	41949	0.362
proposed	T<=4	36.02	52165	0.451
MED		36.02	51197	0.44

表 7 Peppers 嵌入效果與品質

Pepper(T=5)		PSNR	Capacity	Payload	溢位	Pure Payload
proposed	T=0	46.32	7677	0.066	0	0.066
MED		46.33	7357	0.063	0	0.063
proposed	T<=1	42.08	22717	0.196	0	0.196
MED		42.14	21845	0.188	0	0.188
proposed	T<=2	40.19	36845	0.318	0	0.318
MED		40.26	35821	0.309	0	0.309
proposed	T<=3	38.91	50109	0.433	5	0.432
MED		38.91	48813	0.422	5	0.420

5. 結論

利用預測值與原始像素值的差值擴張技術主要差異在於預測方式。Lee 等學者、Chuan Qin 等學者使用平均值作為預測值，以數學的角度減少差值；MED 則是以邊緣特性的角度預測，MMED 則加強了 MED 對非邊緣區域的預測。

限制嵌入區域可以加強對邊緣區的預測，使用 MMED 則使非邊緣區的預測值更準確。經由實驗結果驗證了本研究使預測值更準確，失真更少，進而提升藏量。

參考文獻

- [1] Chin-Feng Lee, Hsing-Ling Chenb & Hao-Kuan Tsoc, "Embedding capacity raising in reversible data hiding based on prediction of difference expansion", *Journal of Systems and Software*, 83, pp. 1864–1872, 2010.
- [2] Chuan Qin, Chin-Chen Chang & Chang, Li-Ting Liao, "An adaptive prediction-error expansion oriented reversible information hiding scheme", *Pattern Recognition Letters* 33, pp. 2166-2172, 2012.
- [3] Tian, J., "Reversible data embedding using a difference expansion", *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 16(3), pp. 721–730, 2007.
- [4] 冷輝世，余奕憲，"改良 MED 邊緣檢測法以增加可逆式隱藏藏量的方法"，第七屆資訊科技國際研討會，2013。
- [5] Weinberger MJ & Seroussi G, "The LOCO-I lossless image compression algorithm: principles and standardization into JPEG-LS", *IEEE Trans Image Process*, 9(8), pp. 1309-1324, 2000.