

醫療影像之可逆式資訊隱藏技術應用邊緣敏感度分析預測方法

呂慈純* 曾俊雅¹ 黃俊智²

朝陽科技大學資訊管理系

*tclu@cyut.edu.tw

¹s10033901@cyut.edu.tw²opo1211@gmail.com

摘要

醫療影像是一種記錄病患資訊的重要資料，隨著資訊科技的進步，為了讓病患的資料能夠更為清晰，影像品質已經發展到 16 位元的 DICOM 高品質影像。本研究改良 Feng 和 Fan 學者提出的延伸 Lukac 方法並且使用於醫療影像，透過標準差分析影像區塊的複雜程度，進而決定不同的預測方式，提高預測的精確度。實驗結果證實本研究方法可以有效地提升影像品質，尤其是複雜型的影像及醫療影像有較佳的效果。

關鍵字：醫療影像、可逆式資訊隱藏、標準差、直方圖位移。

Abstract

Medical imaging is important data to record patient information. In this study, we improve Feng and Fan's method and use it in 16-bit DICMO medical imaging. The proposed scheme analyzes the complexity of image block by using image standard deviation to determine the prediction method for improving prediction accuracy. Experimental results show that the method can effectively improve image quality, especially in complex images and medical images with better results.

Keywords: Medical image; Reversible data hiding; Standard deviation; Histogram- shifting technique.

1. 前言

醫療影像是一種記錄病患重要資訊的資料，隨著資訊科技的發展，數位化的處理便持續受到關注，為了提升診斷時的精確度，醫師對影像品質的需求逐漸提升。隨著科技進步，醫療影像的記錄方

式從 8 位元深度影像，演進到 16 位元和 32 位元影像，影像品質更為精細 [9]。圖 1-2 為 8 位元和 16 位元影像的像素分佈比較。醫療數位影像和通訊標準(Digital Imaging and Communications in Medicine, DICOM)是為了讓醫院各部門的醫療儀器產生出來的醫療影像進行整合，更完整建構出病患資訊。但是數位化醫療影像在網際網路上的儲存和傳輸的過程中可能會遭到第三者的攔截或篡改，導致醫師無法正確判斷病患的資訊。因此，學者們將資訊隱藏技術運用於醫療影像 [2, 5, 6]。隨著 16 位元影像的盛行，如何有效利用高階位醫療影像藏入機密訊息，已成為新一代資訊隱藏技術的挑戰。

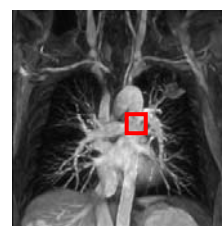
醫療影像嵌入訊息後必須注意影像的變化，因為醫療影像是完整呈現出病患資訊的一種資料，假使影像失真太嚴重，可能會影響醫師的判斷 [1]。也有可能導致承載訊息的影像媒體被破壞，永遠無法復原回原始狀態。因此，學者們發展出可逆式資訊隱藏技術 (Reversible Data Hiding, RDH)，在取出機密訊息後，可以讓隱蔽影像完全恢復回原來的影像。



(a) 8-bit 影像

240	241	241	240	245	243	238
240	241	248	245	246	243	245
243	245	245	251	251	246	245
243	245	248	245	252	248	245
245	251	249	253	249	245	246
248	248	249	251	255	251	253
246	249	251	251	248	248	251
251	255	252	252	251	251	251

(b) 8-bit 像素值



(c) 16-bit 影

2843	2676	2559	2579	2606	2696	2894
2616	2458	2512	2655	2685	2881	3066
2420	2286	2414	2674	2727	2838	3161
2247	2163	2316	2759	2792	2865	3177
2120	2096	2226	2732	2788	2956	3156
2087	2091	2209	2593	2740	2950	3094
2249	2234	2270	2572	2707	2783	2910
2522	2457	2412	2520	2627	2722	2962

(d) 16-bit 像素值

圖 1 像素值比較

近幾年來 RDH 技術有許多的相關研究，其中一種類型是差異擴張法 (Difference Expansion)，是以像素與像素之間的差異進行擴張，將機密訊息藏於擴張後的差異中 [10, 11]。另外一種常用的方法是直方圖位移法 (Histogram Shifting-based)，該方法是先分析像素值之分佈情況，藉由產生出來的直方圖將機密訊息藏於峰值點中 [4, 8, 12]。

本研究提出一個改良 Feng 和 Fan 學者的方法，透過標準差評估各區塊的複雜度，不同複雜度的區塊用不同方式進行預測，並且以自適性的方式設定門檻值。最後分析預測誤差的分布情形，利用直方圖位移的方式嵌入機密訊息，提升影像品質。

2. 文獻探討

2.1 預測方式

預測像素是 RDH 技術中很常用的一種方式，該方法利用預測像素與原始像素之間的差異距離進行訊息嵌入，如果被預測的像素越趨近於原始像素，則嵌入訊息後對影像失真程度越小。因此，預測方法的精準度會顯著影響到嵌入量和影像品質。學者們為了降低差異距離提出了以預測值進行差值運算的方法，預測值有些是利用鄰近像素值的

平均值，有些使用加權概念，以減少預測值與原始像素之間的差異距離。然而，除了預測方法的修改外，選擇適當的像素個數和位置也可能會影響預測結果。

Yang 和 Tsai 學者將影像中的每個像素以棋盤方式分成 2 個類別 (如圖 3 所示)，並且以直方圖位移的方式嵌入機密訊息，該方法將灰階影像分類成互不相交的 2 個集合 [12]。

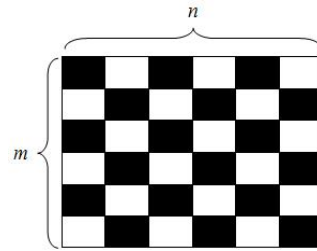


圖 3 棋盤式 (交錯式) 影像

Yang 和 Tsai 學者的方法使用不同集合的 4 個鄰

近像素進行預測，例如預測黑色棋盤格的 α 集合的

$x_{(i, j)}$ 像素時，會使用鄰近白色棋盤格的 β 集合的像

素進行預測；反之，預測 β 集合的像素時，會透過

α 集合的像素進行預測。因此，在進行訊息嵌入和

取出時，不會干擾到相同集合的數值。

2.2 直方圖位移

Ni 等學者於 2006 年提出直方圖位移技術與 RDH 進行結合 [8]，直方圖位移的概念是先分析整張影像像素分佈情形，並且得到一張直方圖表，接

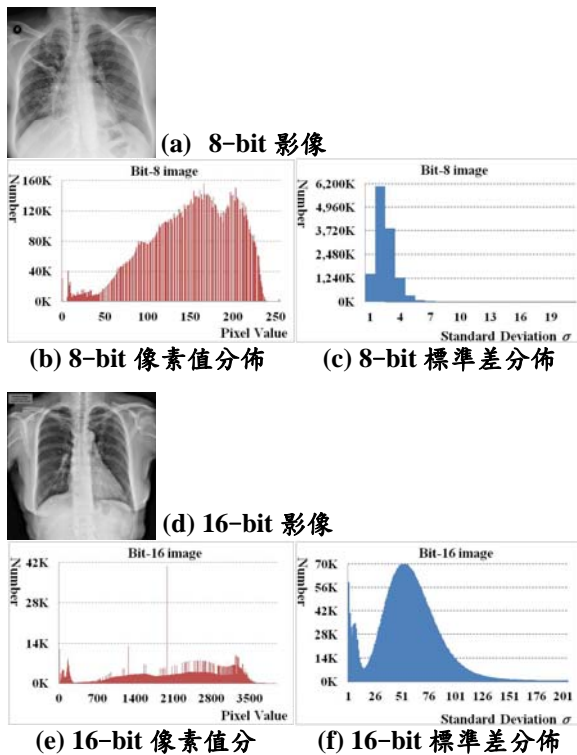


圖 2 影像分析

著從直方圖表中尋找出現最多次的峰值點 (Peak Point) 和都沒有出現過的零值點 (Zero Point)，最後將機密訊息嵌入峰值點，嵌入流程如下。

- (1) 分析像素分佈情形，並且產生直方圖表。
- (2) 尋找峰值 P 和零值 Z 。
- (3) 位移直方圖像素值，位移條件如下：
 - I. 如果 $P < Z$ ， $[P+1, Z]$ 之間的像素 $x_{(i,j)} + 1$ 。
 - II. 如果 $P > Z$ ， $[P-1, Z]$ 之間的像素 $x_{(i,j)} - 1$ 。
- (4) 將機密訊息嵌入峰值點，並且產生隱蔽影像，公式如下所示：

$$\begin{cases} x'_{(i,j)} = x_{(i,j)} + b, & \text{if } P < Z, \\ x'_{(i,j)} = x_{(i,j)} - b, & \text{if } P > Z. \end{cases} \quad (1)$$

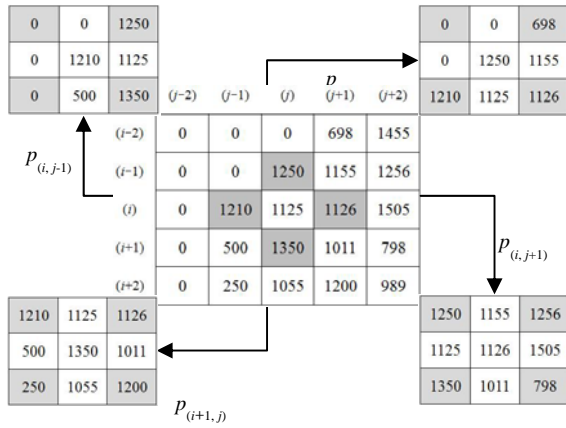


圖 4 演算法範例

令 $x'_{(i,j)}$ 為偽裝影像的像素值， b 為欲嵌入的機密訊息。當像素值 $x_{(i,j)}$ 分析完成後，找出峰值點 P 和零值點 Z ，接著位移 $P \pm 1$ 和 Z 之間的像素並且對峰值點 P 嵌入訊息。

2.3 延伸 Lukac 演算法

Lukac 等學者使用周圍鄰近像素的邊緣敏感 (Edge-Sensing) 權重係數對彩色影像進行預測 [7]。首先，計算鄰近像素的權重，其公式如下：

$$p_{(i,j)} = \left[\sum_{k=1}^4 w_k r_k \right], \quad (2)$$

令 $p_{(i,j)}$ 為預測像素值， w_k 為鄰近像素權重， r_k 為第

k 個鄰近像素值， i 和 j 為影像的 2 維索引位置， k 為鄰近像素集合 $k = \{r_{(i,j-1)}, r_{(i-1,j)}, r_{(i,j+1)}, r_{(i+1,j)}\}$ 。權重 w_k 的計算會透過鄰近像素的邊緣敏感係數 u_k 求得，其公式如下：

$$u_l = \left(1 + \sum_{k=1}^4 |r_l - r_k| \right)^{-1}, \quad (3)$$

令 $l = k$ ，公式 (3) 加強邊緣像素 r_l 與其他 4 個像素 r_k 之間的關聯性，降低預測誤差。最後，利用下列公式正規化 u_k 的數值，即可得到鄰近像素的權重。

$$w_l = \frac{u_l}{\sum_{k=1}^4 u_k}. \quad (4)$$

以圖 4 為例，首先利用公式 (3) 計算鄰近像素 $r_{(i,j-1)}$ 、 $r_{(i-1,j)}$ 、 $r_{(i,j+1)}$ 和 $r_{(i+1,j)}$ 的邊緣敏感係數 u_k 。接著，透過公式 (4) 正規化，得到鄰近像素的權重值。最後，利用公式 (2) 即可得到預測像素值 $p_{(i,j)} = 1,231$ 。

Feng 和 Fan 學者於 2012 年將 Lukac 等學者的概念運用於資訊隱藏中 [4]，他們假設 $r_{(i-1,j-1)}$ 、 $r_{(i-1,j+1)}$ 、 $r_{(i+1,j-1)}$ 和 $r_{(i+1,j+1)}$ 的鄰近像素對預測像素 $p_{(i,j)}$ 也會有貢獻。因此，首先計算 $p_{(i,j)}$ 的鄰近像素的預測值，其 u_k 和 w_k 的公式與 (3)-(4) 相同，但是鄰近像素集合改為 $f_k = \{r_{(i-1,j-1)}, r_{(i-1,j+1)}, r_{(i+1,j-1)}, r_{(i+1,j+1)}\}$ 。

最後對預測後的像素值 p_k 調整影響大小，其公式如下：

$$p'_k = \lfloor r_k - \eta_k \times (p_k - x_k) \rfloor, \quad (5)$$

令 η_k 為調整預測值的影響大小， η_k 決定該預測值

p_k 的影響大小，作者建議 η_k 值設為 0.1。

以圖 4 為例，透過公式 (2)-(4) 對 4 個鄰近像素進行預測，並且利用公式 (5) 得到調整後的預測

值 $p'_{(i,j-1)}=1,146$ 、 $p'_{(i-1,j)}=1,165$ 、 $p'_{(i,j+1)}=1,003$ 和

$p'_{(i+1,j)}=1,242$ 。最後，再透過公式 (2)-(4) 即可得到

$p_{(i,j)}=1,149$ 。

從圖 4 中的範例可以發現，Feng 和 Fan 學者所提出的延伸 Lukac 方法對高複雜度區塊的預測更為精確。然而，本研究在分析延伸 Lukac 方法時，發現該方法在平滑區塊上的表現不比原始 Lukac 方法好，因此我們提出一個能夠依區塊特性調整使用的方法，用以改進 Feng 和 Fan 的方法。使提出方法更適用於醫療影像。

3. 研究方法

本研究利用 Feng 和 Fan 學者的延伸 Lukac 方法，提高複雜區塊的預測能力，針對平滑區塊，則使用傳統 Lukac 預測方法進行。因此，本研究將影像切割成數個區塊，並進行標準差計算，根據標準差門檻決定該區塊要使用的預測方法。最後，利用預測誤差進行直方圖位移並且將機密訊息嵌入，研究設計流程如圖 5 所示。

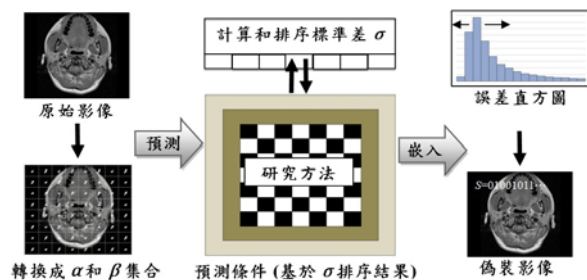


圖 5 所提方法示意圖

	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	1398	1455	1456	0
2	0	0	0	0	698	1455	1546	1506
3	0	0	0	1250	1155	1256	1354	1355
4	0	0	1210	1125	1126	1505	1323	1444
5	0	0	500	1350	1011	798	1246	459
6	0	0	250	1050	1200	989	410	137
7	0	150	115	1320	1411	200	598	199

圖 6 研究範例

3.1 前置階段

首先，將影像分成 α 和 β 集合，每次取其中一

個集合進行嵌入。如圖 6 所示。

Al-Qershi 和 Khoo 學者透過 Pearson 相關係數分析標準差與均方差 (Mean Squared Error, MSE) 之間的關係 [3]。經實驗分析後發現標準差與 MSE 呈現出顯著正相關聯。因此，本研究利用 Al-Qershi 和 Khoo 學者的概念，對每個 3×3 區塊進行標準差計算。以 $x_{(i,j)}$ 其鄰近 4 個像素計算標準差。最後，對標準差進行排序，數值越小會優先嵌入訊息。

3.2 預測階段

進行預測時，會先設定 2 個門檻值 T_1 和 T_2 ，門檻值主要是判斷使用的預測方式。如果該像素位置

的標準差 $\sigma \leq T_1$ ，以傳統 Lukac 方法進行預測；如

果該像素位置的標準差 $T_1 < \sigma \leq T_2$ ，則以延伸 Lukac

方法進行預測。

是延伸 Lukac 方法會有超出邊界的情形，因此對邊緣位置的像素會有不同的處理 (如圖 7)。最邊緣的像素，如圖 7-(a)，會使用周圍 2 個鄰近像素進

行預測；靠近邊緣像素最外圍一圈的像素，如圖

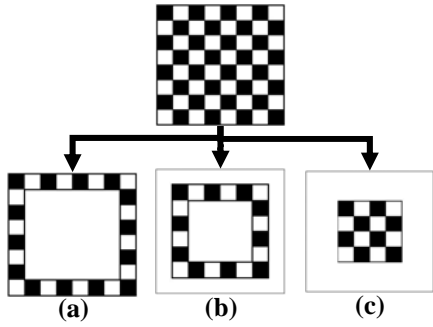


圖 7 不同位置使用的預測方法

7-(b)，因無法再向外擴展使用延伸 Lukac 方法，故

統一採用傳統 Lukac 方法，即 $\sigma \leq T_2$ ，即可進行藏

入。

3.3 嵌入階段

本研究以預測誤差為基礎進行直方圖分析，最後將機密訊息嵌入峰值點中，嵌入流程如下：

- (1) 建立預測誤差 $e_{(i,j)}$ 直方圖表。
- (2) 尋找個數最多的誤差值，做為峰值 (P)。
- (3) 從 P 開始尋找零值點 Z 。
- (4) 位移 P 和 Z 之間的誤差值，將機密訊息嵌入峰值點 P ，並且產生偽裝影像。
- (5) 以此類推，直到所有屬於 β 集合都嵌入訊息

後，改藏 α 集合，藏入方法相同。

3.4 提取階段

提取階段與前述嵌入流程相似，流程如下：

- (1) 將影像分成 α 和 β 集合，並且對最後進行嵌

入的集合開始進行取出。

- (2) 計算像素標準差和排序。
- (3) 取得嵌入時的門檻值，以第 3.2 節的方式對偽裝影像進行預測，並且產生直方圖。
- (4) 取得嵌入時的峰值點 P 和零值點 Z 。

I. 當 $P < Z$ ：

- a. $e_{(i,j)} = P+1$ ，則 $e_{(i,j)} - 1$ ，取出 $b = 1$ 。
- b. $e_{(i,j)} = P$ ，則 $e_{(i,j)}$ 不變，取出 $b = 0$ 。
- c. $P < e_{(i,j)} \leq Z$ ，恢復誤差值 $e_{(i,j)} - 1$ 。

II. 當 $P > Z$ ：

- a. $e_{(i,j)} = P-1$ ，則 $e_{(i,j)} + 1$ ，取出 $b = 1$ 。
- b. $e_{(i,j)} = P$ ，則 $e_{(i,j)}$ 不變，取出 $b = 0$ 。
- c. $P > e_{(i,j)} \geq Z$ ，恢復誤差值 $e_{(i,j)} + 1$ 。

- (5) 最後，還原原始像素 $x_{(i,j)} = P_{(i,j)} - e_{(i,j)}$ 。

4. 實驗結果

本實驗使用 Matlab 7.10.0 (R2010a) 開發，實驗用 DICOM 醫療影像，來自於 aycan OsiriX^{PRO} 和 National Biomedical Imaging Archive (NBIA)免費醫療樣本影像，如圖 8 所示。

本研究使用 PSNR 為衡量機制進行比較。PSNR

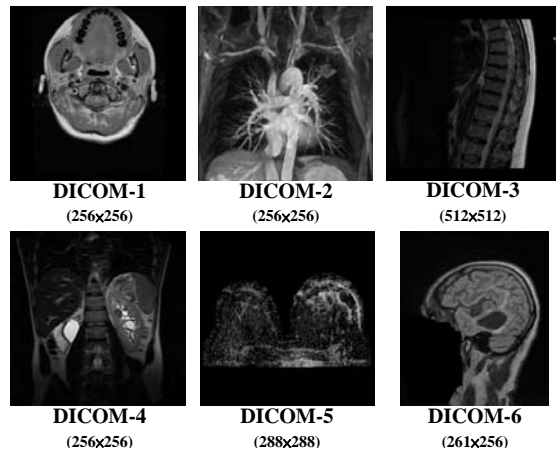


圖 8 測試影像

是用來測量藏入機密訊息後的影像和原始影像之間的差異，PSNR 數值越大，代表影像的品質越好。其公式如下：

$$PSNR = 10 \times \log_{10} \left[\frac{(ImageDepth)^2}{\frac{1}{mn} \times \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} (x_{(i,j)} - x'_{(i,j)})^2} \right] \text{ (dB)} \quad (6)$$

由於影像深度之不同，導致 PSNR 值的標準也會隨

著改變，就以往的經驗，8 位元影像的 PSNR 值要高於 28 dB 以上，偽裝影像品質才是可以被接受的。然而，16 位元影像的 PSNR 值標準就不再是 28 dB 以上，在實驗過程中發現，不同影像會有不同的 PSNR 值標準，有些偽裝影像在 PSNR 值低於 85 dB 以下時，已經與原始影像有些微的差異，像是白色部份會顯得更為光亮、胡椒點，或者是組織紋理的部份會被平滑化；但有些偽裝影像在 PSNR 值低於 80 dB 以下，仍然很難發現有被修改的跡象。因此，本研究假設醫療影像的 PSNR 值需要高於 90 dB 以上，才能被接受並且防止被第三者察覺。

4.1 自適性門檻值設定

為了提升預測的精確度，本研究利用標準差定義 2 個門檻值 T_1 和 T_2 ，以決定使用的預測方法。透過分析每張影像的標準差分佈情形，從圖 9 的醫療影像中可以發現，多數影像有較大的背景區，標準差峰值點會位於 0；而 DICOM-2 和 DICOM-4 屬於背景區較少的影像，因此標準差的峰值點分別落於 37 和 12。標準差越小，代表適合使用傳統 Lukac 方法進行預測。因此，本研究以此峰值點做為 T_1 的設定。而 T_2 會根據使用者需求決定，整張影像最多藏入多少訊息，即 T_2 設定其對應的標準差。

然而，所提方法會對同一張影像進行多次的嵌入，門檻值的設定會對不同的嵌入階段產生影響。故本研究假設 4 種門檻值設定方式，分別為：

- (1) Method-1：以整張影像產生門檻值，並且使用於所有的嵌入階段。
- (2) Method-2：以整張影像產生 $T_1, T_2=100\%$ 。
- (3) Method-3：各嵌入階段都重新計算門檻值，門檻值不會互相影響。
- (4) Method-4：以首次嵌入得到的門檻值，使用於各嵌入階段。

上述方法除了 Method-2 會對所有像素值進行預測和嵌入外，即 $T_2=100\%$ ，其他 3 種方法 T_2 都設定為 80% 的像素個數。除了 Method-3 以外，其它 3 種方法都是使用相同標準差門檻值進行多次嵌入，為了避免提取時發生錯誤，必須額外記錄 T_1 和 T_2 。

4.2 藏入量和影像品質

本實驗使用第 4.1 節的兩種門檻值設定方式與其他學者提出的方法進行藏入量和 PSNR 值比較，一種是影像品質較佳的 Method-1，另一種是藏入量

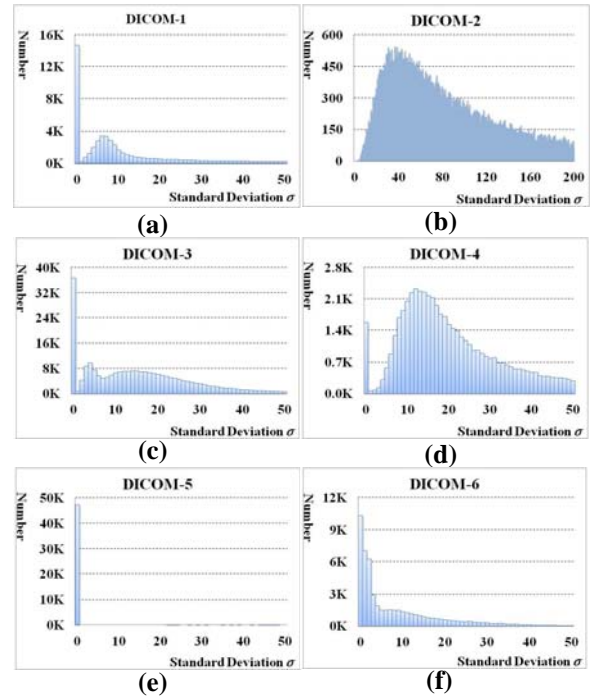


圖 9 DICOM 醫療影像之標準差分佈圖

表 1 嵌入 4 次訊息後的 PSNR 和藏入量比較

DICOM-1	turn-2		turn-4		Total bpp
	Capacity	PSNR	Capacity	PSNR	
Ni et al.	24,465	94.80	38,819	89.32	0.59
Tian	65,536	62.69	131,072	54.92	2.00
Lukac et al.	16,250	99.39	24,305	93.39	0.37
Feng & Fan	14,767	99.09	21,287	96.86	0.32
Method-1	16,240	102.24	24,415	96.35	0.37
Method-3	16,850	100.34	25,289	95.57	0.39
DICOM-2	turn-2		turn-4		Total bpp
	Capacity	PSNR	Capacity	PSNR	
Ni et al.	384	118.85	623	114.29	0.01
Tian	65,536	48.34	131,072	41.01	2.00
Lukac et al.	788	99.47	1,533	94.72	0.02
Feng & Fan	984	99.55	1,813	93.49	0.03
Method-1	759	102.33	1,397	97.73	0.02
Method-3	906	100.31	1,658	94.23	0.03
DICOM-3	turn-2		turn-4		Total bpp
	Capacity	PSNR	Capacity	PSNR	
Ni et al.	101,190	94.71	159,525	89.49	0.61
Tian	262,144	62.21	524,288	56.54	2.00
Lukac et al.	45,559	101.32	87,881	95.43	0.34
Feng & Fan	39,162	100.07	65,985	97.16	0.25
Method-1	44,884	105.87	87,768	100.15	0.33
Method-3	46,653	102.74	90,497	96.89	0.35
DICOM-4	turn-2		turn-4		Total bpp
	Capacity	PSNR	Capacity	PSNR	
Ni et al.	4,572	94.50	7,161	89.41	0.11
Tian	65,536	60.15	131,072	53.83	2.00
Lukac et al.	3,372	99.76	5,998	94.98	0.09
Feng & Fan	3,186	99.44	5,338	94.90	0.08
Method-1	3,040	102.75	5,556	96.85	0.08
Method-3	3,423	100.64	6,138	94.68	0.09
DICOM-5	turn-2		turn-4		Total bpp
	Capacity	PSNR	Capacity	PSNR	
Ni et al.	80,225	96.46	126,979	91.93	1.53
Tian	82,944	40.21	165,888	34.45	2.00
Lukac et al.	46,817	99.66	69,441	97.62	0.84
Feng & Fan	39,333	99.47	53,779	95.16	0.65
Method-1	47,441	101.44	70,072	96.27	0.84
Method-3	47,891	100.98	71,019	97.12	0.86
DICOM-6	turn-2		turn-4		Total bpp
	Capacity	PSNR	Capacity	PSNR	
Ni et al.	15,862	93.95	25,150	89.20	0.45
Tian	55,296	71.19	110,592	64.08	1.66
Lukac et al.	13,546	100.86	25,450	95.78	0.46
Feng & Fan	12,012	99.55	19,883	96.85	0.36
Method-1	12,743	105.39	24,162	99.46	0.44
Method-3	13,680	102.14	25,624	96.15	0.46

和 PSNR 值介於 Method-1 與 Method-2 的 Method-3。表表 1 為藏入 4 次後之比較。

在 DICOM 醫療影像的表現上, Ni 學者的方法在多數影像上能夠維持高藏入量和 PSNR 值, 原因在於多數醫療影像的背景區非常多。Tian 學者的方法嵌入量非常高, 因為溢位問題只會發生向下溢位, 太多的區塊符合嵌入訊息的條件。Lukac 方法在多數影像下的藏入量會比 Feng 的方法還要好, 但是當影像太過於複雜時(如圖 9-(b)), 藏入量會比適合預測複雜影像的 Feng 方法還低。而本研究方法在 PSNR 值高於 95 dB 的情形下, 藏入量明顯高於其他方法; 然而, 在 DICOM-4 影像的藏入量只有些微的贏過其他方法, 主要原因在於該影像的複雜度過高(如圖 9-(d)), 標準差的峰值點位於較為複雜的數值, 故預測精確度降低導致藏入量變

少; DICOM-2 影像也是相同的情況, 藏入量的表現並不顯著。

5. 結論

本研究提出一個改良 Feng 和 Fan 學者的延伸 Lukac 方法, 透過標準差分析每個區塊的複雜度, 並且使用不同方法進行預測。然而, 門檻值設定會受到不同標準差統計方式影響, 故本研究將標準差統計分為 2 種類型, 一種是以全部像素為基礎計算標準差, 另一種是用一半像素為基礎計算標準差。實驗結果顯示, 本研究方法可以有效提升複雜影像的 PSNR 值, 並且維持一定水準的藏入量, 尤其是在 16 位元醫療影像上的表現更為顯著, 在預測越精確的情況下, 可以提升預測峰值點和藏入量。

參考文獻

- [1] O.M. Al-Qershi and K.B. Ee., "Authentication and Data Hiding Using a Reversible ROI-Based Watermarking Scheme for DICOM Images," *Proceedings of World Academy of Science: Engineering and Technology*, Vol. 50, pp. 801-806, 2009.
- [2] O.M. Al-Qershi and B.E. Khoo, "High Capacity Data Hiding Schemes for Medical Images Based on Difference Expansion," *The Journal of Systems and Software*, Vol. 84, pp. 105-112, 2011.
- [3] O.M. Al-Qershi and B.E. Khoo, "Two-Dimensional Difference Expansion (2D-De) Scheme with a Characteristics-based Threshold," *Signal Processing*, Vol. 93, pp. 154-162, 2013.
- [4] G. Feng and L. Fan, "Reversible Data Hiding of High Payload Using Local Edge Sensing Prediction," *The Journal of Systems and Software*, Vol. 85, pp. 392-399, 2012.
- [5] L.C. Huang, L.Y. Tseng, and M.S. Hwang "A Reversible Data Hiding Method by Histogram Shifting in High Quality Medical Images," *The Journal of Systems and Software*, Vol. 86, pp. 716-727, 2013.
- [6] D.C. Lou, M.C. Hu, and J.L. Liu "Multiple Layer Data Hiding Scheme for Medical Images," *Computer Standards and Interfaces*, Vol. 31, pp. 329-335, 2009.
- [7] R. Lukac, K. Martin, and K.N. Plataniotis, "Digital Camera Zooming Based on Unified CFA Image Processing Steps," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 50, pp. 15-24, 2004.
- [8] Z. Ni, Y.Q. Shi, N. Ansari, and W. Su, "Reversible Data Hiding," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 16, No. 3, pp. 354-362, 2006.
- [9] O.S. Panykh, *Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM): A Practical Introduction and Survival*, Springer, 2012.
- [10] J. Tian, "Reversible Data Hiding Using a Difference Expansion," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 13, No. 8, pp. 890-896, 2003.
- [11] W.J. Yang, K.L. Chung, H.Y. Liao, and W.K. Yu, "Efficient Reversible Data Hiding Algorithm Based on Gradient-based Edge Direction Prediction," *The Journal of Systems and Software*, Vol. 86, pp. 567-580, 2013.
- [12] C.h. Yang and M.H. Tsai, "Improving Histogram-Based Reversible Data Hiding by Interleaving Predictions," *IET Image Processing*, Vol. 4, No. 4, pp. 223-234, 2010.