

可逆式資訊隱藏中邊緣像素之預測修正方法

冷輝世

國立彰化師範大學
數學系講師

lenghs@cc.ncue.edu.tw

曾顯文

朝陽科技大學資訊管理系
副教授

hwtseng@cyut.edu.tw

摘要

基於預測誤差的可逆式資訊隱藏研究，通常在平坦區可以得到精準的預測值，但是邊緣像素則會造成預測不準。本研究提出一個可行的方法，針對邊緣像素的預測做修正以減少預測誤差。經由實驗結果，不論是使用門檻值控制藏入量與減少失真的差值擴張技術或是使用峰值點提高藏入量的直方圖位移技術的嵌入方式都可以達到提高藏入量與減少失真的效果。

關鍵詞：預測誤差，可逆式資訊隱藏，邊緣像素，差值擴張，直方圖位移。

Abstract

Many researches on prediction-based reversible data hiding can achieve precise prediction in the smooth area aside from the edge pixels. In this study, we propose a novel prediction method by using a predetermined threshold to improve the prediction value of edge pixels. The experiment results show that the proposed method achieves higher payload and lower distortion, no matter use difference-expansion or histogram-shifting scheme.

Keywords: Prediction-based reversible data hiding, edge pixel, difference-expansion, histogram-shifting.

1. 前言

資訊隱藏是指傳送方將機密訊息嵌入數位媒介中後傳遞給接收方。由於機密訊息的嵌入會導致原始媒介相當程度的失真，以致於在傳遞的過程中引起有心人士注意甚至於竄改或破壞，所以如何提高藏入量與減少失真是兩項重要的研究指標。資訊隱藏又可分為可逆式與不可逆式，可逆式是指接收方在經過協議的方式取出機密訊息後，能完整的還原原始媒介。

由於可逆式資訊隱藏在嵌入機密訊息時必須保留一些訊息，所以通常藏入量相對於不可逆式低。

可逆式資訊隱藏有兩種主要的技術：差值擴張與直方圖位移。Tian 學者(2003)[10]提出差值擴張，利用相鄰兩像素的差值擴張並嵌入機密訊息。Ni 等學者(2006)[6]提出直方圖位移，利用位移峰值點與零值點之間的像素，並將機密訊息嵌入峰值點。近年來，相繼有學者[4,7-9,12]提出基於預測誤差的可逆式資訊隱藏方法。因為利用預測誤差可以提高藏入量並減少失真。Thodi 等學者(2007)[8,9]首先提出利用預測誤差的方式結合差值擴張或直方圖位移。Tseng 等學者(2009)[12]提出邊緣吻合預測法、Lee 等學者(2010)[4]提出相鄰兩像素平均值預測法、Qin 等學者(2012)[7]提出相鄰三像素平均值預測法，計算預測誤差並結合差值擴張技術。Hong 等學者(2009)[2]使用中位數邊緣預測法、Feng 等學者(2012)[1]提出邊緣敏感度預測法，計算預測誤差並結合直方圖位移技術。

基於預測誤差的可逆式資訊隱藏研究，通常在平坦區可以得到精準的預測值，但是邊緣像素則會造成預測不準。本研究提出一個可行的方法，針對邊緣像素的預測做修正以減少預測誤差。以下分別於第二節介紹相基於預測誤差的差值擴張與直方圖位移技術，第三節介紹本研究所提出的方法，第四節利用實驗結果驗證本研究的對於提高藏入量與減少失真的效果，以及最後將本研究做一總結。

2. 相關研究

在基於預測誤差的可逆式資訊隱藏的兩種主要技術中，差值擴張技術主要是利用一個門檻值控制藏入量與失真度，儘可能的增加預測誤差小於門檻值的數量；直方圖位移技術則是只考慮峰值點，儘可能的提高預測誤差為零的數量。簡單的說，如果要達到高藏入量與低失真的結果就必須在門檻值之下得到更精確的預測值。

基於預測誤差的可逆式資訊隱藏依據其藏入的順序還分為兩種，一種是 Raster-scan(如圖 1)，另一種則是 Two-pass-embedding(如圖 2)。Raster-scan 是固定第一列與第一列的像素做為預測的參考並不做嵌入，其它像素則使用相鄰像素的計算做為預測值 [2,4,7,12]。Two-pass-embedding 則是將所有像素分為黑格與白格，第一次先嵌入黑格並利用其相鄰的四個像素做為預測的參考，第二次嵌入白格，同樣可以利用其相鄰的四個像素做為預測的參考[3,13]。很明顯的，由於 Two-pass-embedding 有較大的嵌入區域以及使用較多的參考像素，所以效果 Raster-scan 的好。

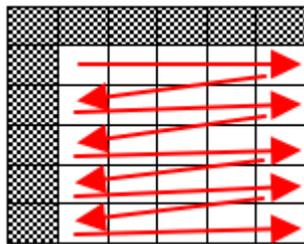


圖 1 Raster-scan

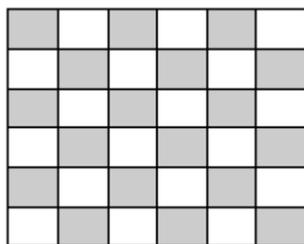


圖 2 Two-pass-embedding

Feng 等學者(2012)[1]提出了利用邊緣敏感度預測法計算預測誤差，其中使用了 Lukac 方法[5]做遞迴收斂，使得預測優於其它的研究結果。Feng 等學者的作法如下：

1. 將原始影像劃分為黑格與白格，使用 Two-pass-embedding。
2. 計算目標像素四個相鄰像素 x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 的敏感係數 u_k 與加權 $w_k(k=1,2,3,4)$ 。

$$u_k = (1 + \sum_{i=1}^4 |x_k - x_i|)^{-1}$$

$$w_k = \frac{u_k}{\sum_{i=1}^4 u_k}$$

3. 先取四個相鄰像素的平均值為預設的預測值 p_0 ，再利用迭代的方式直到 p_n 收斂至一

固定值 ($|p_n - p_{n-1}| < \varepsilon$)，其中 n 值可以自行設定以避免不收斂或計算時間過長。

$$p_n = p_{n-1} + \frac{1}{4} \cdot \sum_{i=1}^4 w_i \cdot (x_i - p_{n-1})$$

Feng 等學者的作法在平坦區的預測值非常準確，但是邊緣像素會破壞收斂的效果以致於預測不準，所以本研究提出對於邊緣像素的預測修正的方法。

3. 研究方法

首先將原始影像分為三個區域(如圖 3)，其中最外圍的區域僅做為預測的參考並不做嵌入的動作，中央為可嵌入的區域則分為類似黑白棋的黑格與白格，第一次嵌入所有的黑格，第二次嵌入所有的白格。

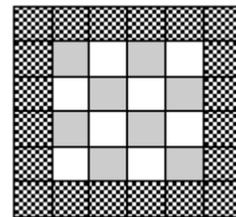


圖 3 原始影像分為三個區域

對於中央可嵌入區域的每一個像素 x ，分別依其相對位置加以標記(如圖 4)。第一次嵌入時，對每一個黑格僅能使用相鄰的水平像素 W、E 以及垂直像素 N、S 做為參考。同理，第二次嵌入亦是如此。

其次，對原始影像做一前置處理以建立利用相鄰水平像素與相鄰垂直像素判別像素 x 是否為邊緣像素的門檻。若 x 為邊緣像素且相鄰水平像素與相鄰垂直像素兩者差值的最大值大於兩對角像素差值的最大值，則表示此邊緣特性是由前者的差值所決定的。再取所有黑格的差值的最小值做為最小門檻。同理，白格亦若是。

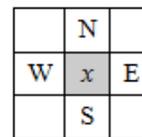


圖 4 標記像素 x 的相鄰像素

同時，考慮下列的各種情形，其中離散變異程度是指相對於四個相鄰像素平均值的離散程度(取差值的絕對值)：

型一：僅有一相鄰像素的值變異與 x 相似(如圖 5)。因為 x 邊緣像素，表示 x 是此相鄰像素的延伸。此像素的離散變異程度必須遠大於其它三者，則修正預測值為取變異相似的相鄰像素的值。

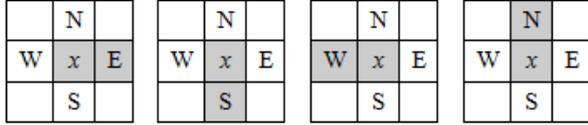


圖 5 僅有一相鄰像素的值變異與 x 相似

型二：相鄰水平像素或相鄰垂直像素的值變異與 x 近似(如圖 6)。因為 x 邊緣像素，表示 x 是分水嶺。修正預測值為取變異值較小的兩相鄰像素的平均值。

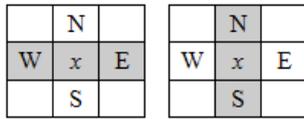


圖 6 相鄰水平像素或相鄰垂直像素的值變異與 x 近似

型三：兩垂直夾角相鄰像素的值變異與 x 近似(如圖 7)。因為 x 邊緣像素，表示 x 為一角落。修正預測值為取相鄰水平像素與相鄰垂直像素中各有一離散變異程度最大的值的平均。

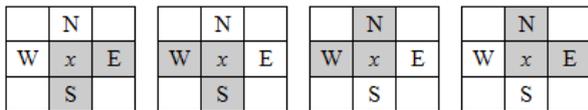


圖 7 兩垂直夾角相鄰像素的值變異與 x 近似

型四：有三相鄰像素的值變異與 x 近似(如圖 8)。因為 x 邊緣像素，表示 x 屬於分水嶺的一邊。其中另一像素的離散變異程度必須遠小於其它三像素，修正預測值為取三像素的平均值。

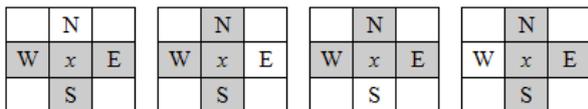


圖 8 有三相鄰像素的值變異與 x 近似

由於以上的條件限制，不可能有四相鄰像素的值都近似的情形發生。

4. 實驗結果

本研究使用 SIPI 影像資料庫中的六張 512×512 的測試圖形做為測試對象(如圖 9)。



圖 9 六張測試圖形

實驗方式為先對各圖做前置處理，求出黑格、白格的門檻，並對滿足研究方法的邊緣像素做預測值的修正。表 1 中列出了各圖形的黑格、白格門檻以及修正的數量。

表 1 測試圖形的門檻以及修正的數量

圖形	型一	型二	型三	型四	其它
Tiffany	2549	5523	1206	529	1353
Baboon	3408	12637	3838	441	2721
Lena	1162	10775	1136	431	1523
Jet	2566	11207	821	293	1049
Scene	2250	12758	1319	250	1180
Peppers	2374	7113	808	229	748

由表 1 可知仍有其它像素未能分類，而且門檻值的設定與所使用的邊緣像素判斷方法有關。(本研究使用 Prewitt 邊緣檢測法)

以下的表 2 至表 7 分別是 Tiffany 圖、Baboon 圖、Lena 圖、Jet 圖、Scene 圖、Peppers 圖與 Feng 等學者(2012)[1]的數據比較，預測誤差取原始值與預測值差值的絕對值。

表 2 Tiffany 圖的比較

預測誤差	Feng 等 學者	本研究	數量差
0	38225	40259	2034
1	66706	66768	62
2	48725	48431	-294
3	31550	31070	-480
4	19813	19558	-255
5	12556	12217	-339
6	8414	8280	-134
7	6328	6174	-154
8	4697	4527	-170
9	3769	3620	-149

表 3 Baboon 圖的比較

預測誤差	Feng 等 學者	本研究	數量差
0	11002	11010	8
1	21729	21889	160
2	20495	20753	258
3	19001	19197	196
4	17380	17313	-67
5	15250	15340	90
6	13775	13577	-198
7	11941	12097	156
8	10755	10674	-81
9	9255	9430	175

表 4 Lena 圖的比較

預測誤差	Feng 等 學者	本研究	數量差
0	34768	35344	576
1	63529	63936	407
2	49126	49423	297
3	34490	34424	-66
4	22715	22703	-12
5	14708	14762	54
6	9810	9792	-18
7	6706	6592	-114
8	4903	4662	-241

表 5 Jet 圖的比較

預測誤差	Feng 等 學者	本研究	數量差
0	51101	56240	5139
1	80172	80000	-172
2	44438	42556	-1882
3	24005	23413	-592
4	14291	14036	-255
5	9422	9504	82
6	6592	6597	5
7	5048	4906	-142
8	3879	3713	-166
9	3253	2914	-339

表 6 Scene 圖的比較

預測誤差	Feng 等 學者	本研究	數量差
0	19650	20299	649
1	37154	37087	-67
2	31645	31664	19
3	27234	27099	-135
4	23237	23251	14
5	19720	19720	0
6	16645	16852	207
7	14232	14063	-169
8	12155	12145	-10
9	10000	9783	-217

表 7 Peppers 圖的比較

預測誤差	Feng 等 學者	本研究	數量差
0	21844	22099	255
1	42719	42938	219
2	39047	39215	168
3	34304	34635	331
4	28450	28527	77
5	22376	22628	252
6	17598	17422	-176
7	13158	13106	-52
8	9781	9713	-68
9	7216	7064	-152

由表 2 至表 7 可知，本研究所提出的邊緣像素的預測修正可增進預測的精確度進而達到提昇藏入量與減少失真的效果。

5. 結論

本研究提出一個可行的方法，針對邊緣像素的預測做修正以減少預測誤差。經由前置處理建立邊緣像素門檻與相鄰水平像素差值和相鄰垂直相像素差值之間的關係。再分析邊緣相像的各種類型預測修正的方法。實驗結果證明本研究所提出的邊緣像素的預測修正可增進預測的精確度且不論是使用差值擴張或是直方圖位移的嵌入方式都可以達到提高藏入量與減少失真的效果。

參考文獻

- [1] Feng, G., & Fan, L., "Reversible data hiding of high payload using local edge sensing prediction," *Journal of Systems and Software*, 85(2), 392-399, 2012.
- [2] Hong, W., Chen, T. S., & Shiu, C. W., "Reversible data hiding for high quality images using modification of prediction errors," *Journal of Systems and Software*, 82(11), 1833-1842, 2009.
- [3] Lee, C. F., & Chen, H. L., "Adjustable prediction-based reversible data hiding," *Digital Signal Processing*, 22(6), 941-953, 2012.
- [4] Lee, C. F., Chen, H. L., & Tso, H. K., "Embedding capacity raising in reversible data hiding based on prediction of difference expansion," *Journal of Systems and Software*, 83(10), 1864-1872, 2010.
- [5] Lukac, R., Martin, K., Plataniotis, K.N., "Digital camera zooming based on unified CFA image processing steps," *IEEE Trans. Consum. Electron*, 50 (1), 15-24, 2004.
- [6] Ni, Z., Shi, Y. Q., Ansari, N., & Su, W., "Reversible data hiding," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 16(3), 354-362, 2006.
- [7] Qin, C., Chang, C. C., & Liao, L. T., "An adaptive prediction-error expansion oriented reversible information hiding scheme," *Pattern Recognition Letters*, 2012.
- [8] Thodi, D. M., & Rodríguez, J. J., "Reversible watermarking by prediction-error expansion," *6th IEEE Southwest Symposium in Image Analysis and Interpretation*, pp. 21-25, 2004.
- [9] Thodi, D. M., & Rodríguez, J. J., "Expansion embedding techniques for reversible watermarking," *IEEE Transactions on Image Processing*, 16(3), 721-730, 2007.
- [10] Tian, J., "Reversible data embedding using a difference expansion," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 13(8), 890-896, 2003.
- [11] Tsai, P., Hu, Y. C., & Yeh, H. L., "Reversible image hiding scheme using predictive coding and histogram shifting," *Signal Processing*, 89(6), 1129-1143, 2009.
- [12] Tseng, H. W., & Hsieh, C. P., "Prediction-based reversible data hiding," *Information Sciences*, 179(14), 2460-2469, 2009.
- [13] Sachnev, V., Kim, H. J., Nam, J., Suresh, S., & Shi, Y. Q., "Reversible watermarking algorithm using sorting and prediction," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 19(7), 989-999, 2009.