

# 利用 PSO 設計基於 SVD 之強韌型數位影像浮水印技術

蔡鴻旭  
國立虎尾科技大學  
Email: thh@nfu.edu.tw

莊御捷  
國立虎尾科技大學  
Email: g19761107@mail.kem.im.nfu.edu.tw

## 一、摘要

本論文使用 SVD 與 PSO 建立一個強韌的盲目型數位影像浮水印技術。本方法將浮水印藏入 SVD 的向量域當中；不同於其他頻率域與空間域的數位浮水印方法。並且本方法使用 PSO 挑選藏入時的最佳化參數，包含了擁有攻擊不變量的藏入位置、浮水印強度以及抽取時浮水印的門檻值。現有的許多 SVD 數位浮水印方法在取出時是需要原圖的。而本方法是盲目型浮水印，在浮水印取出時可不需要原圖資訊。實驗結果顯示，本方法勝過現有的大多方法。

關鍵詞: 粒子族群最佳化、奇異值分解、數位浮水印

## 二、研究動機與目的

近年來風行全世界的 WEB2.0[4]，讓任何網路的使用者都可以擁有在網路上表現與創作的機會，使得個人創作的比例呈爆炸性的成長。因此要如何運用資訊科技來保護個人的智慧財產權的課題就相對的重要許多[13]。而在其中使用數位浮水印技術來保護著作人的著作財產權是相當熱門的研究課題之一。本論文的目的則是提出一套數位浮水印技術且此浮水印技術可以抵抗一般常見的影像攻擊例如: JPEG 壓縮、影像雜訊、影像銳化與影像模糊化...等等。本文將參考 Chang 學者[2]與 Fan 學者[7]所提出的 SVD 轉換後所得到的攻擊不變量。並且使用智慧型的機器學習結合數位浮水印[7][13]來達到更高的強韌

性與更好的透明度。

## 三、文獻探討

### (一) Singular value decomposition(SVD)

SVD 是線性代數當中一個相當重要的工具[11]，許多不同的研究領域都會使用 SVD 來做各個不同的應用。例如主成分分析 (principal component analysis)、多變量分析 (canonical correlation analysis) 以及資料的壓縮 (data compression)...等等。

SVD 轉換可將一個原始的矩陣  $A$  分解成三個矩陣相乘。即：

$$A = USV^T \quad (1)$$

其  $U$  矩陣與  $V^T$  又稱左特徵向量與右特徵向量，此二個矩陣擁有著正交矩陣的特性，即：

$$\begin{aligned} I &= U^T U \\ I &= V^T V \end{aligned} \quad (2)$$

$U$  矩陣與  $V^T$  內所包含的數值代表著原始矩陣的特徵向量 (eigenvector)。另外  $S$  矩陣則稱為奇異值矩陣或特徵值矩陣，此矩陣是一個對角線矩陣，矩陣上的元素代表著原始矩陣的奇異值 (singular value) 或稱特徵值，且矩陣內係數的大小由大到小排列即：

$$if : S = \begin{bmatrix} s_1 & & & \\ & s_2 & & \\ & & s_3 & \\ & & & s_4 \end{bmatrix} \quad (3)$$

than :  $s_1 > s_2 > s_3 > s_4$

## (二) Particle Swarm Optimization(PSO)

粒子族群最佳化演算法(PSO)為Kennedy於1995年 [10] 提出，PSO是一個以族群基礎(population-based)的變化啟發式(meta-heuristic)演算法，相似於社會行為學說中，在一個多維度空間(hyper-dimensional search space)，鳥兒如何群聚飛行到一個最佳的覓食位置，其融入鳥群覓食時個體與族群關係之特性。如同進化式演算法(evolutionary algorithms)，PSO使用族群(swarm)與個體又稱為粒子(particles)，藉由重複(iteration)的更新族群與粒子，完成其搜尋演算法。為了求得最佳的解，每一個粒子藉由兩個要素改變其搜尋方向，要素一為粒子本身最佳的經驗，稱為Pbest(previous best particles)，要素二為族群最佳的經驗，稱為Gbest(global best particle)，上述要素一為認知部份(cognition part)要素二為社會部份(social part)。

每一個粒子代表一個候選位置也就是一種解，一個粒子為多維度空間裡的一個點，其特性由它的位置(position)  $x_{id}$  與速度(velocity)  $v_{id}$  所描述。在  $D$  維空間裡位於重複次數  $t$  的粒子  $i$  可被表示如下

$$x_i^t = \{x_{i1}^t, x_{i2}^t, \dots, x_{iD}^t\} \quad (4)$$

同樣地其速度可被表示如

$$v_i^t = \{v_{i1}^t, v_{i2}^t, \dots, v_{iD}^t\} \quad (5)$$

令 (6) 代表直到重複次數  $t$  粒子  $i$  時所獲得的Pbest，而 (7) 代表群組最佳解在重複次數為  $t$  的  $P_i^t$  裡獲得Gbest。

$$P_i^t = \{p_{i1}^t, p_{i2}^t, \dots, p_{iD}^t\} \quad (6)$$

$$P_g^t = \{p_{g1}^t, p_{g2}^t, \dots, p_{gD}^t\} \quad (7)$$

## (三)基於 SVD 的數位浮水印方法

基於 SVD 的數位浮水印方法並不如 DWT、DCT、FFT... 等頻率域轉換般常見。雖早在 2002 年就有 Liu 學者提出基於 SVD 的數位浮水印技術[9]，但是當時也僅是提出基本概念與簡易的藏入方法，其浮水印的藏入方法以及強韌性比起當時基於頻率域的浮水印研究還略顯遜色 [12][14]。

### 【Liu 02】

在此要介紹 2002 年所提出來的基於 SVD 的數位浮水印方法。

藏入方法：

Step1. 首先將原始影像作 SVD 運算即

$$A = USV^T \quad (8)$$

Step2. 接著將浮水印影像與  $S$  矩陣相加得到  $S_n$  矩陣

$$S_n = S + \alpha W \quad (9)$$

Step3. 然後將  $S_n$  矩陣作 SVD 運算，並且取其奇異值矩陣為  $S_w$  矩陣

$$S_n = S + \alpha W = U_w S_w V_w^T \quad (10)$$

Step4.最後結合  $S_w$  矩陣與(8)所得到的  $U$  矩陣與  $V$  矩陣,即可得到藏有浮水印的影像  $A_w$

$$A_w = U S_w V^T \quad (11)$$

取出方法：

Step1.首先將藏有浮水印的影像  $A_w$  作 SVD 運算

$$A_w = U S_w V^T \quad (12)$$

Step2.接著利用(10)所得到的  $U_w$  與  $V_w^T$  矩陣得到  $D^*$  矩陣

$$D^* = U_w S_w V_w^T \quad (13)$$

Step3.最後將  $D^*$  與(8)的  $S$  矩陣相減即可得到  $W^*$  矩陣

$$W^* = \frac{1}{\alpha} (D^* - S) \quad (14)$$

在此方法中所用到的  $\alpha$  參數為放大或縮小浮水印強度的參數。此參數數值越大則浮水印可擁有較強的強健性,相對的給予影像破壞會增加導致透明度則下降。這是浮水印技術當中極為常見的兩難狀況[1] [2] [7] [9]。而實驗的結果證明此方法抵抗一般攻擊的能力是相當不足夠的(表-3),且在取出浮水印時需要大量的原圖資訊,再加上藏入時要做兩次的 SVD 運算,這在計算複雜度上面也是很大的負擔。因此 Mohammad 在

2008 年針對部分弱點作了改進。

### 【Mohammad 08】

針對 Liu 學者在 2002 年的論文, Mohammad 學者做了許多的改進與加強。以下介紹 Mohammad 學者的數位浮水印演算法

藏入方法:

Step1.首先將原始影像  $A$  切割成多個不重複的  $M \times M$  區塊

$$A = \sum_{i=0}^{N_1} \sum_{j=0}^{N_2} A_{ij} \quad (15)$$

Step2.接著將每個區塊作 SVD 運算

$$A_{ij} = U_{ij} S_{ij} V_{ij}^T \quad (16)$$

Step3.然後將浮水印位元  $b_{ijw}$  藏入  $S_{ij}$  矩陣當中,其藏入公式如下:

$$S_{ijw} = S_{ij} (1 + \alpha b_{ijw}) \quad (17)$$

Step4.最後將  $S_{ijw}$  矩陣結合(16)的  $U_{ij}$  與  $V_{ij}$  矩陣,最後合併所有區塊則得到藏有浮水印的影像  $A_w$

$$A_{ijw} = U_{ij} S_{ijw} V_{ij}^T \quad (18)$$

$$A_w = \sum_{i=0}^{N_1} \sum_{j=0}^{N_2} A_{ijw}$$

取出方法:

Step1.首先將藏有浮水印的影像切割成多個不重複的  $M \times M$  區塊

$$A_w = \sum_{i=0}^{N_1} \sum_{j=0}^{N_2} A_{ijw} \quad (19)$$

Step2.接著利用 SVD 特性反推回藏有浮水印的  $S_{ijw}$  矩陣

$$S_{ijw} = U_{ij}^T A_w V_{ij} \quad (20)$$

Step3.然後使用下列公式即可取出浮水印位元  $I_M b_{ijw}$

$$I_M b_{ijw} = \frac{S_{ij}^{-1}}{\alpha} (U_{ij}^T A_{ijw} V_{ij}^T - S_{ij}) \quad (21)$$

Step4.最後將所有位元合併即可得到浮水印  $W^*$

$$W^* = \sum_{i=0}^{n_1} \sum_{j=0}^{n_2} I_M b_{ijw} \quad (22)$$

此方法的藏入與取出一樣會用到參數  $\alpha$ ，此參數的作用與 Liu 學者的相同，影響著藏入浮水印的強度與浮水印圖的透明度。觀察此方法可以從(20)與(21)發現 Mohammad 學者完全用線性代數的理念來設計此浮水印方法。這樣的創意讓他可以在藏入時的 SVD 運算次數少了一半，減少了計算複雜度。且在取出時需要的資訊較 Liu 的方法少，除此之外還可以在知道旋轉角度的情況之下達到完全抗旋轉的能力。

但是此方法依然有許多關鍵性的缺陷存在，例如取出時需要原圖資訊。因此這並不是一個健忘性浮水印(oblivious watermarking) [8]。此外關於取出的演算法(21)基於線性代數的理論  $S$  的反矩陣  $S^{-1}$  並不絕對存在，因此此取出演算式會有機會發生因  $S^{-1}$  不存在而造成出該區塊浮水

印無法計算的狀況。

### 【Chang 05】

上述兩位學者的方法皆是將浮水印藏在奇異值矩陣當中，此外還有其他的學者是將浮水印藏在左特徵向量與右特徵向量當中。如 Chang 學者所提出的方法即是將浮水印藏在左特徵向量當中，其方法不但具有健忘性，且能更有效的抵抗一般常見的影像攻擊。接著將介紹 Chang 學者的方法

藏入方法:

Step1.首先將原始影像  $A$  切割成多個不重複的  $M \times M$  區塊

$$A = \sum_{i=0}^{N_1} \sum_{j=0}^{N_2} A_{ij} \quad (23)$$

Step2.將每個區塊  $A_{ij}$  作 SVD 運算

$$A_{ij} = U_{ij} S_{ij} V_{ij}^T$$

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} A_{ij}1 & A_{ij}5 & A_{ij}9 & A_{ij}13 \\ A_{ij}2 & A_{ij}6 & A_{ij}10 & A_{ij}14 \\ A_{ij}3 & A_{ij}7 & A_{ij}11 & A_{ij}15 \\ A_{ij}4 & A_{ij}8 & A_{ij}12 & A_{ij}16 \end{bmatrix} = U_{ij} S_{ij} V_{ij}^T = \quad (24)$$

$$\begin{bmatrix} U_{ij}1 & U_{ij}5 & U_{ij}9 & U_{ij}13 \\ U_{ij}2 & U_{ij}6 & U_{ij}10 & U_{ij}14 \\ U_{ij}3 & U_{ij}7 & U_{ij}11 & U_{ij}15 \\ U_{ij}4 & U_{ij}8 & U_{ij}12 & U_{ij}16 \end{bmatrix} \times$$

$$\begin{bmatrix} S_{ij}1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & S_{ij}2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & S_{ij}3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & S_{ij}4 \end{bmatrix} \times$$

$$\begin{bmatrix} V_{ij}^T 1 & V_{ij}^T 5 & V_{ij}^T 9 & V_{ij}^T 13 \\ V_{ij}^T 2 & V_{ij}^T 6 & V_{ij}^T 10 & V_{ij}^T 14 \\ V_{ij}^T 3 & V_{ij}^T 7 & V_{ij}^T 11 & V_{ij}^T 15 \\ V_{ij}^T 4 & V_{ij}^T 8 & V_{ij}^T 12 & V_{ij}^T 16 \end{bmatrix}$$

Step3.根據浮水印位元  $w$ ，變動  $U_{ij}$  矩陣中第一欄位中的第二與第三個係數即  $U_{ij}2$  與  $U_{ij}3$

$$\begin{aligned} & \text{if } w=0, \text{dis}(|U_{ij}2|, |U_{ij}3|) \text{ must } < \text{threshold} \\ & \text{else if } w=1, \text{dis}(|U_{ij}2|, |U_{ij}3|) \text{ must } \geq \text{threshold} \end{aligned} \quad (25)$$

(25)為調整此二係數的距離  $\text{dis}(|U_{ij}2|, |U_{ij}3|)$  之條件，其中  $\text{threshold}$  是控制浮水印強度與浮水印影像透明度的門檻值，其效果與上述兩個方法皆相同。而取出時的演算法與藏入時幾乎相同，只須將(25)改成(26)在此就不多加說明。

$$\begin{aligned} & \text{if } \text{dis}(|U_{ij}2|, |U_{ij}3|) < \text{threshold} \text{ then } w=0 \\ & \text{else if } \text{dis}(|U_{ij}2|, |U_{ij}3|) \geq \text{threshold} \text{ then } w=1 \end{aligned} \quad (26)$$

#### 【Fan 08】

到了2008年Fan學者提出了改良上述Chang學者的方法，此方法主要目的是要提高浮水印影像的透明度，也就是減少藏入時對影像的破壞。其藏入演算法與Chang學者在2005年的作法極為類似。主要是在藏完之後在SVD的向量域之下又對右特徵向量做了某些更動。其方法如下：接續(25)

儲存  $U_{ij}2$  與  $U_{ij}3$  的係數變動量為  $\Delta 1$  與  $\Delta 2$ ，並且根據  $\Delta 1$  與  $\Delta 2$  算出  $\Delta 3$ 、 $\Delta 4$ 、 $\Delta 5$  與  $\Delta 6$

$$\begin{aligned} \Delta 3 &= -\frac{1}{2} \left( \frac{V_{ij}1 \times \Delta 1}{U_{ij}2 + \Delta 1} + \frac{V_{ij}1 \times \Delta 2}{U_{ij}3 + \Delta 2} \right) \\ \Delta 4 &= -\frac{1}{2} \left( \frac{V_{ij}2 \times \Delta 1}{U_{ij}2 + \Delta 1} + \frac{V_{ij}2 \times \Delta 2}{U_{ij}3 + \Delta 2} \right) \\ \Delta 5 &= -\frac{1}{2} \left( \frac{V_{ij}3 \times \Delta 1}{U_{ij}2 + \Delta 1} + \frac{V_{ij}3 \times \Delta 2}{U_{ij}3 + \Delta 2} \right) \\ \Delta 6 &= -\frac{1}{2} \left( \frac{V_{ij}4 \times \Delta 1}{U_{ij}2 + \Delta 1} + \frac{V_{ij}4 \times \Delta 2}{U_{ij}3 + \Delta 2} \right) \end{aligned} \quad (27)$$

接著更改右特徵向量變動公式如下：

$$\begin{aligned} V_{ij}^T 1^* &= V_{ij}^T 1 + \Delta 3 \\ V_{ij}^T 2^* &= V_{ij}^T 2 + \Delta 4 \\ V_{ij}^T 3^* &= V_{ij}^T 3 + \Delta 5 \\ V_{ij}^T 4^* &= V_{ij}^T 4 + \Delta 6 \end{aligned} \quad (28)$$

最後將三矩陣合併即成為藏有浮水印的影像。此方法的重點在於，利用調整右特徵向量的動作來降低藏入時左特徵向量的破壞程度，讓左特徵向量在藏入時可用較高的  $\text{threshold}$  來增加浮水印強度並且保持較高的透明度，經過實驗之後可發現此改變卻容易造成對抗某些攻擊的能力有明顯減弱的現象(表-3)。

#### 四、提出的方法

根據Fan學者與Chang學者的論文內所述，原圖經過SVD轉換後所得到的左特徵向量與右特徵向量上的受攻擊不變量僅存在第一個欄位。本實驗將重新檢驗SVD轉換後的向量域上，是否有更多可藏入浮水印的地方。

(一)強韌性測試

此實驗將測試在不同的攻擊之下，SVD 轉換後的左特徵向量將會有甚麼樣的變化，是否能如頻率域那樣能在某些頻帶上擁有受攻擊的不變量。實驗方法如下圖：

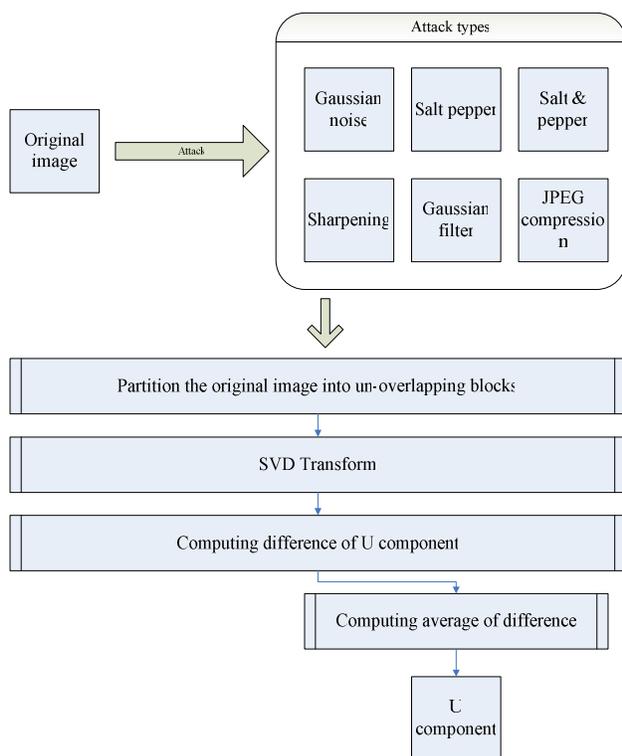


圖 1

- Step1: 將原始圖片作 5 種攻擊，產生 5 張圖片
- Step2: 原始圖片與受攻擊的所有圖片階切割成不重疊的區塊
- Step3: 將所有區塊作 SVD 轉換，並取 U 矩陣作為主要觀察對象
- Step4: 計算所有受攻擊的區塊，與原始區塊的變化量
- Step5: 將所有區塊的變化量平均，觀察 30 張圖的變化量(表-1 僅列出 3 張圖作為參考)

實驗結果如表-1 而本實驗的結果與 Chang 學者與 Fan 學者是相同的，但是本研究將以不同的方向來解釋數據。雖然在左特徵向量的第一個欄位內的係數受到攻擊後的變化最小，但是此欄

位在 PCA 的觀點來看即是代表著第一主成分軸即是此區塊的第一主成分。因此變化量少是可預見的，但是相對的去調整此欄位內的值定會造成對圖片較大的破壞。而第二個欄位則屬於第二主成分，雖然受破壞時的變化量較大，但同時也能忍受較大的變動。

表-1

		Average of difference in componet U							
Airplain		0.006	0.16	0.178	0.187	0.184	0.175	0.169	0.155
		0.005	0.135	0.168	0.178	0.187	0.195	0.195	0.18
		0.006	0.129	0.161	0.189	0.19	0.194	0.195	0.182
		0.006	0.129	0.159	0.18	0.194	0.193	0.195	0.182
		0.006	0.128	0.162	0.176	0.194	0.197	0.192	0.18
		0.006	0.128	0.161	0.177	0.186	0.196	0.194	0.179
		0.006	0.134	0.16	0.175	0.186	0.192	0.2	0.181
		0.006	0.15	0.175	0.182	0.182	0.174	0.168	0.166
Baboon		0.014	0.114	0.148	0.163	0.169	0.165	0.159	0.14
		0.015	0.11	0.14	0.158	0.168	0.172	0.172	0.152
		0.015	0.107	0.14	0.16	0.17	0.175	0.174	0.156
		0.015	0.107	0.143	0.162	0.172	0.175	0.171	0.153
		0.015	0.106	0.142	0.16	0.171	0.175	0.174	0.156
		0.015	0.107	0.141	0.159	0.17	0.173	0.172	0.156
		0.015	0.109	0.139	0.16	0.168	0.176	0.174	0.155
		0.014	0.111	0.144	0.163	0.168	0.164	0.162	0.146
Lena		0.007	0.159	0.176	0.186	0.186	0.178	0.173	0.157
		0.007	0.141	0.17	0.18	0.189	0.195	0.193	0.176
		0.007	0.134	0.166	0.189	0.191	0.193	0.193	0.178
		0.007	0.136	0.167	0.182	0.196	0.196	0.191	0.178
		0.007	0.133	0.167	0.183	0.191	0.195	0.193	0.179
		0.007	0.135	0.168	0.185	0.19	0.192	0.191	0.176
		0.007	0.142	0.164	0.18	0.188	0.192	0.193	0.178
		0.007	0.155	0.176	0.186	0.181	0.172	0.168	0.163

(二)透明度測試

此研究將對針對 SVD 轉換後的左特徵向量做實驗。在左向量內針對不同的特徵向量(欄位)加上一個假定藏入浮水印時的調整量。來觀察不同的調整量所產生的 PSNR 值。實驗步驟如圖 2:

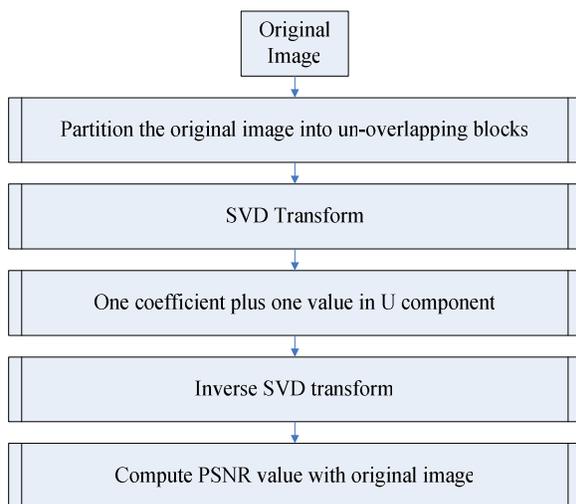


圖 2

- Step1. 將原始圖片切割為多個不重複的區塊
- Step2. 將每個區塊作 SVD 轉換
- Step3. 加一個值到左特徵向量的一個係數
- Step4. 還原原始區塊
- Step5. 計算調整過後的圖片與原始圖片的 PSNR 值

其實驗結果如表-2，Chang 學者與 Fan 學者所主張的第一欄位所擁有的不變量，我們將他係數加上 0.02 會發現 PSNR 下降相當多，而同屬第一欄位的第二個係數同樣加上 0.02 其 PSNR 會有更大幅度的下降，也就是調整的係數越往下其對原圖的破壞將會越趨嚴重。另外可以從觀察得知越後面的特徵向量可以忍受越大的係數調整。到了第 8 特徵向量的第 1 個係數時，將此係數向上調整 20，卻還可以有 42.6 的 PSNR。

Plus value	0.02	0.3	0.7	1	2	4	8	20
Airplaine	36.8	40.5	40.2	43.6	42.7	41.9	41.5	42.6
	33.7	36.9	36	39.1	38.2	37.3	36.9	37.2
	31.9	34.6	33.2	35.8	34.7	34	33.7	33.7
	30.7	32.9	31	33.3	31.5	30.8	30.8	30.8
	29.7	31.5	29.1	31.2	28.9	27.6	27.7	28.1
	28.8	30.3	27.5	29.3	26.5	24.7	24.6	25.4
	28.1	29.2	26.1	27.7	24.5	22.3	21.4	22.5
	27.5	28.2	24.8	26.2	22.6	20.3	19	19
Baboon	39.4	34.7	31	31.7	29.3	27.4	26.7	27.7
	36.4	31.1	27.1	27.6	25.2	23.3	22.4	22.9
	34.6	28.8	24.5	24.9	22.4	20.5	19.6	19.8
	33.3	27.1	22.5	22.7	20.1	18.3	17.4	17.5
	32.3	25.6	20.8	21	18.1	16.4	15.6	15.6
	31.5	24.4	19.3	19.4	16.4	14.5	14.1	14
	30.8	23.3	18	18.1	14.9	13	12.4	12.7
	30.2	22.2	16.8	16.8	13.6	11.7	11	11.3
Lena	39.6	42.3	40.5	43.9	42.2	40.6	40	41.1
	36.6	38.7	36.3	39.3	37.8	36.2	35.6	35.8
	34.8	36.3	33.5	36.1	34.4	33.2	32.5	32.3
	33.5	34.6	31.4	33.6	31.4	30.2	29.9	29.4
	32.5	33.2	29.6	31.6	28.9	27.3	27	27
	31.7	32	28	29.7	26.6	24.5	24.1	24.4
	31	30.9	26.7	28.1	24.6	22.2	20.9	21.8
	30.4	29.9	25.4	26.6	22.8	20.2	18.4	18.4

以此類推，對應表-1 的實驗結果可發現，欄位數慢慢往後推可發現破壞量並沒有太大的變動，而越後面的欄位卻可忍受浮水印藏入時越大的素質調整(表-2)。

(三)結合 PSO 的浮水印藏入方法

本論文的浮水印藏入步驟如下:

Step1. 首先將原始影像  $A$  切割成多個不重複的  $M \times M$  區塊

$$A = \sum_{i=0}^{N_1} \sum_{j=0}^{N_2} A_{ij} \quad (29)$$

Step2. 將每個區塊  $A_{ij}$  作 SVD 運算

$$A_{ij} = U_{ij} S_{ij} V_{ij}^T \quad (30)$$

Step3. 在  $U_{ij}$  當中選擇第  $n$  個欄位，選取此欄位中的任意三個係數  $C$ ，而其中的  $n$  與  $C$  的三個係數皆由 PSO 演算法挑選

$$C = \{c_1, c_2, c_3\} \quad (31)$$

Step4. 將  $C$  絕對值之後作排序得到  $SC$

$$\text{SORT}(|C|) = SC = \{sc_1, sc_2, sc_3\} \quad (32)$$

and  $sc_1 < sc_2 < sc_3$

Step5. 將  $sc_1$  到  $sc_3$  之間的距離調整大於等於  $threshold$ ，此動作的目的是為了增加浮水印的強度

Step6. 依據浮水印位元改變  $sc_2$ ，如果浮水印位元為 1 則將  $sc_2$  的值往  $sc_3$  移動，反之浮水印位元為 0 時，則將  $sc_2$  往  $sc_1$  移動如圖 3

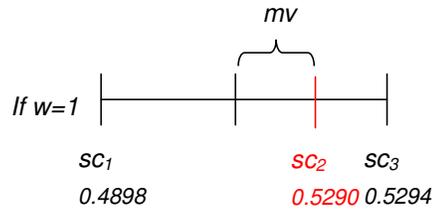
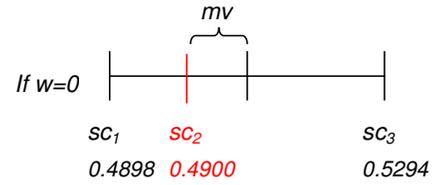


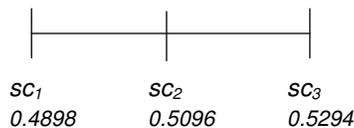
圖 3

圖 3 為調整  $SC$  參數的流程圖，當要藏入的浮水印位元  $w$  為 0 時則將  $sc_2$  往  $sc_1$  移動  $mv$ ，反之則將  $sc_2$  往  $sc_3$  移動  $mv$ 。取出時的演算法從 Step1 到 Step4 完全相同，最後以  $sc_2$  為基準， $sc_2$  的值離  $sc_1$  較近則取出浮水印位元  $w$  為 0 反之離  $sc_3$  較近則為 1

本實驗接著將使用 PSO 來找出最佳化的藏入位置與最佳化的藏入參數。PSO 演算法所控制的參數包含下列 6 個

- 藏入欄位  $n$
- 三個係數的位置  $pos1$ 、 $pos2$ 、 $pos3$
- $sc_1$  至  $sc_3$  的距離  $threshold$
- 以及藏入時  $st2$  的移動量  $mv$

以下為 PSO 結合本實驗的數位浮水印藏入方法的流程:



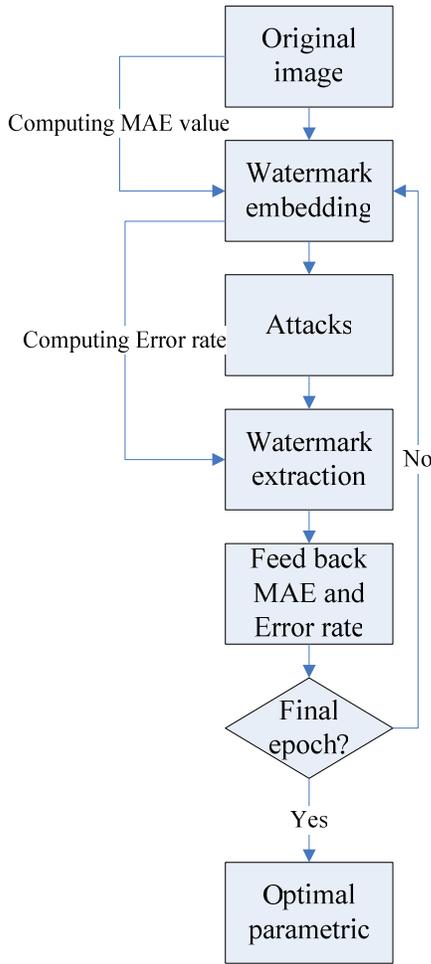


圖 4

圖 4 為浮水印藏入方法結合 PSO 之訓練過程的流程圖。經由 PSO 所挑選出來的參數進行浮水印的藏入動作之後得到浮水印圖  $X_w$ ，與原圖  $X$  計算其 MAE 值。

$$MAE = \frac{\sum_{i=0}^N |X_i - X_{wi}|}{255} \times \frac{1}{N} \quad (33)$$

接著對此浮水印圖進行五種攻擊分別是高斯雜訊、胡椒鹽雜訊、銳化、模糊化與 JPEG 壓縮。之後對遭受攻擊的五張圖片取出浮水印之後計算五張圖片  $Error\ rate$  的平均值

$$Error\ rate = \sum_{i=1}^N |W_i - W_i^*| \times \frac{1}{N} \quad (34)$$

將  $Error\ rate$  與 MAE 值作為此粒子的  $fitness\ value$  其兩個數值的計算方法如下

$$fitness\ value = MAE \times \alpha + Error\ rate \times (1 - \alpha) \quad (35)$$

則 PSO 會依照  $fitness\ value$  的回應來尋找最小值(最佳解)，其中  $\alpha$  為 0 到 1 的數值，目的為調整透明度與強韌度的比重，依據  $\alpha$  值的不同會產生不同的訓練結果。如果 MAE 的比重較高，則圖片的透明度會較佳反之則是浮水印的抗破壞力較強。依照不同的比重 PSO 會挑出不同的參數組來滿足此比重的近似最佳解。

## 五、實驗結果

實驗的結果證明本方法可以有效的提升 SVD-based 數位浮水印方法的強韌性，其他現存的方法雖然在藏入後對原圖的破壞較小，但是對於抵抗破壞則表現的相當不良(表-3)，本方法在抵抗銳化、模糊化以及 JPEG 壓縮上有著相當好的成效。而對應不同的粒子數(particles)其收斂速度以及最佳的  $fitness\ value$ (表-4)，可觀察出 PSO 在此方法上擁有相當優異的效能。有著極快的收斂速度以及到了 25 個粒子數之後能得到穩定的  $fitness\ value$ 。且由於收斂速度極快因此在對圖片作藏入動作時比起之前所提出來使用基因演算法的方法更加實用[5]。在藏入只須調整參數  $\alpha$  就可以依照比重交由 PSO 挑選出最適合該比重的參數，其  $\alpha$  之影響如(表-5)。Chang 學著的方法是現有的方法當中較好的方法，雖然本論文在與 Chang 學者比較時無法在浮水印圖的 PSNR 與受攻擊後取出浮水印的  $Error\ rate$  同時勝出。但由於 Chang 學者的浮水印區塊在藏入時會根據奇異值矩陣來挑選區塊，而本實驗則是將所有的區

塊都藏入浮水印位元，因此比起 Chang 的方法本方法除了抵抗功擊的能力領先之外在藏入量上也能有明顯的勝出(表-6)。

表-3

Method	PSNR	Gaussian noise ( $\sigma=25$ )	Salt & pepper (3%)	Sharpening ( $\alpha=0.2$ )	Gaussian filter ( $\sigma=0.5$ )	JPEG compression (QF=70)
【Liu 02】	50	0.49	0.49	0.33	0.37	0.5
【Mohammad 08】	41.6	0.6	0.15	0.6	0.55	0.59
【Chang 05】	44.32	0.27	0.23	0.26	0.21	0.24
【Fan 08】	44.6	0.44	0.21	0.22	0.55	0.54
This proposed	34.44	0.37	0.23	0.02	0	0.02

PSNR of watermarking image and watermark's error rate of attacked image

表-4

Number of particles	Convergency epoch	Fitness value
10	4	0.13
15	4	0.32
20	4	0.04
25	4	0.18
30	3	0.09
35	3	0.03
40	3	0.09
45	3	0.05

表-5

$\alpha$	PSNR	Average of Error rate
0.1	13.11	0.01
0.2	14.97	0.06
0.3	13.48	0.03
0.4	28.22	0.14
0.5	22.4	0.07
0.6	23.06	0.14

0.7	31.98	0.21
0.8	34.44	0.13
0.9	40.05	0.42

表-6

Image	This proposed	【Chang 05】
Lena	16384	10688
Airplane	16384	9036
Baboon	16384	14810
Barbara	16384	9924
Bridge	16384	13052
Couple	16384	9533
Gold hill	16384	10532

Payload in different image(block size 4x4)

## 六、結論

誠如 Chang 學者所說 SVD 比起其他頻率域轉換有著相當大的不同。SVD domain 不存在著高頻以及低頻係數，但是有著代表著主成分的向量，以及代表著該矩陣的奇異值。Chang 學者利

用奇異值矩陣判斷此區塊是否適合藏入，並利用左特徵向量上的攻擊不變量進行浮水印的藏入。而本研究則擴張 Chang 學者的方法，利用 PSO 的優勢讓浮水印的藏入時可依照不同的圖片不同的透明度與強韌性的比重作動態的參數變化。且此方法能更大幅度的強化浮水印的強韌性。比起文獻中的四個基於 SVD 所設計的浮水印系統，還要擁有更大的彈性。

## 七、參考文獻

- [1] A.A. Mohammad, A. Alhaj and S. Shaltaf, “An improved SVD-based watermarking scheme for protecting rightful ownership”, *Signal Processing*, vol. 88, pp. 2158-2180, 2008.
- [2] C.-C. Chang, P. Tsai and C.-C. Lin, “SVD-based digital image watermarking scheme”, *Pattern Recognition Letters*, vol. 26, pp. 1577-1586, 2005.
- [3] D. Enke and S. Thawornwong, “The use of data mining and neural networks for forecasting stock market returns”, *Expert Systems with Applications*, vol. 29, pp. 927-940, 2005
- [4] G. Grosseck, “To use or not to use web 2.0 in higher education?”, *Procedia Social and Behavioral Sciences*, vol. 1, pp. 478-482, 2009.
- [5] H.-H. Tsai and W.-Y. Wang, “JND-based watermark embedding and GA-based watermark extraction with fuzzy inference system for image verification”, *International Journal of Approximate Reasoning*, 2007
- [6] H.-H. Tsai and D.-W. Sun, “Color image watermark extraction based on support vector machines”, *Information Sciences*, vol. 177, pp. 550-569, 2007
- [7] M.-Q. Fan, H.-X. Wang and S.-K. Li, “Restudy on SVD-based watermarking scheme”, *Applied Mathematics and Computation*, vol. 203, pp. 926-930, 2008.
- [8] P.-L. Lin, “Oblivious Digital Watermarking Scheme with Blob-Oriented and Modular-Arithmetic-Based Spatial-Domain Mechanism”, *Visual Communication and Image Representation*, vol. 12, pp. 136-151, 2001
- [9] R. Liu and T. Tan, “An SVD-Based Watermarking Scheme for Protecting Rightful Ownership”, *IEEE Trans. on multimedia*, vol 4, no. 1, 2002.
- [10] R. Eberhart and J. Kennedy, “A new optimizer using particle swarm theory”, the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science, pp.39-43, Nov. 1995
- [11] S.I. Gass and T. Rapesák, “Singular value decomposition in AHP”, *European Journal of Operational Research*, vol. 154, pp. 573-587, 2004
- [12] S.D. Lin and C.-F. Chen, “A ROBUST DCT-BASED WATERMARKING FOR COPYRIGHT PROTECTION”, *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, vol. 46, pp. 415-421, 2000
- [13] T.-H. Chen, C.-C. Chang, C.-S. Wu and D.-C. Liu, “On the security of a copyright protection scheme based on visual cryptography”, *Computer Standards & Interfaces*, vol. 31, pp. 1-5, 2009.
- [14] Y. Wang, J.F. Doherty and R.E.V. Dyck, “A Wavelet-Based Watermarking Algorithm for Ownership Verification of Digital Images”, *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 11, no. 2, pp.77-87, 2002