

列印掃描影像竄改之偵測

王清林* 陳同孝** 盧瑞鵬**

*國立勤益技術學院資訊管理系

**國立台中技術學院資訊管理系

摘要

數位時代的來臨便利了人類的的生活，給予人們更廣大的想像空間，不過也因此衍生出許多問題，其中對於數位影像安全性的議題一直被廣泛的討論，當數位影像被廣泛使用時，其安全性是沒有保障的，對於任何一張合法的影像，皆可能遭受到不法的竄改，目前對於影像的認證方面已經有許多的研究[1-4]，不過大部分討論的範圍都在電腦中進行，並沒有考慮影像需要做列印輸出，為了讓列印後的影像也能受到保護是目前相當重要的研究方向，因此在本篇論文中，我們利用邊緣（Edge）資料當作特徵值，將特徵值做 Reed-Solomon Code（RS Code），使得藏入的特徵值能夠有錯誤更正的能力，再利用離散餘弦轉換（DCT）將特徵值藏入頻率域的中頻區域，將來在偵測影像是否遭受到竄改的時候，根據藏入的特徵值以及鏈碼（Chain Code）的技術，就可以指出影像遭受到竄改的部分，根據我們的實驗結果顯示，無論竄改的動作是在影像列印前或是列印後，我們的方法都可正確地指出影像遭竄改的部位，這對於智慧財產權的保障有著非常卓越的貢獻。

關鍵字：離散餘弦轉換, Reed-Solomon Code, 鏈碼, 影像竄改偵測

一、前言

網際網路的快速發展，每天有數以萬計的數位資料在網路上流通，如何確保數位資料的安全性是相當值得探討的問題，由於數位影像具有易於修改的特性，任何一個熟悉數位處理的人，皆可利用軟體對影像做修改，幾假亂真的程度令人咋舌，結果演變成真假難辨的窘境，對於智慧財產權的保護上無疑是一項嚴重的打擊，所謂“眼見為憑”的觀念正受到嚴重的考驗；目前對於數位影像的保護大多利用浮水印嵌入原始影像來達成，而浮水印的技術依照其特性可分為可視（visible）及不可視（invisible）兩類，可視的浮水印是一種從肉眼就可以辨別出來的浮水印，所以通常都是將有意義的圖示嵌入影像來達到影像保護的目的，例如公司的標記或是特別的標誌；而不可視的浮水印則是無法利用肉眼辨別，需透過某些特定的演算法之後，才能將浮水印藏入與取出，將來發生權益糾紛的時候我們可以從原始影像中取出預先藏入的浮水印來做驗證，由於可視的浮水印對於影像的美觀上的影響較大，而且可視的浮水印很容易就會遭受到竄改，為了不影響影像的美觀且在原始影像破壞最小的情況下藏入浮水印，所以在本篇論文中我們以邊緣特徵當做特徵值的方式藏入不可視的浮水印，將來我們就以藏入的特徵值當做

判斷影像是否遭竄改的依據，一般的浮水印技術討論的範圍皆是在電腦中做處理，而忽略影像列印後的保護，若是一張數位影像需要做列印輸出時，藏入的浮水印必須要能夠抵抗列印及掃描的嚴重失真，因此浮水印的強韌性就受到很大的考驗，本篇論文著重在列印後掃描影像竄改之偵測，所以我們藏入的浮水印除了要能夠抵抗列印及掃描的嚴重失真之外，藏入的浮水印更需具備容錯及錯誤更正的能力才能夠提昇資料的正確性，為了讓藏入的特徵值能有錯誤更正的能力，我們利用 RS Code 的編碼技術對特徵值進行編碼，為了讓藏入的特徵值具有強韌的特性，我們使用離散餘弦轉換 (DCT) 將影像由空間域轉換至頻率域並將邊緣特徵藏入中頻區域，竄改偵測是以藏入的邊緣特徵當做依據並利用 Chain Code 將影像中連續的區域圈選出來，根據所圈選的區域判斷該影像是否遭竄改。

本篇論文的架構如下，第一節是前言，第二節是回顧過去相關的研究，第三節為本篇論文所用的技術簡介，第四節為本篇論文所提出的方法與流程，第五節為實驗的結果與分析，第六節為本篇論文結論，最後附上本篇論文所參考的相關資料。

二、 相關研究回顧

目前對於影像安全的防護，大多是在影像中藏入數位浮水印，而浮水印藏入的方法大抵可以分為兩種，一種是根據影像像素間的關係，直接針對空間域 (spatial domain) 影像做修改[2]，進而達到藏入浮水印的目的，直接針對空間域影像修改的優點是方法簡單、修改容易，但這種藏入浮水印的方式對於失真的抵抗較弱，若是處理的不當很容易就可由肉眼判斷出被修改的部位；另外一種方法則是先將影像由空間域轉換至頻率域 (frequency domain)，然後再針對頻率域影像做修改[1][4][6]，一張頻率域影像是以高低頻帶來呈現，由於肉眼對於低頻區域較為敏感，而對於中高頻區較為不敏感，因此若是我們針對中高頻區做少量的修改，再轉換至空間域影像，以人類的肉眼是不容易辨識出來的，以這種方法藏入的浮水印，其抵抗破壞的能力會優於直接在空間域修改的方式，若影像利用[1][2][4]的方法保護影像，雖然都可以達到不錯的效果，但都不適用於列印掃描後的影像，陳同孝、林泉成提出的方法[6]可達到列印掃描影像的保護，但卻有下列幾項缺點，1.藏入特徵值的區塊需要事先做選擇，所以該區塊必須紀錄。2.藏入三份特徵值可提升容錯的能力，但特徵值本身並無錯誤更正能力，所以資料的正確性不高。3.無法明確地指出影像遭受竄改的部位，需要由使用者自行判斷影像是否遭到竄改。為了改進上述的缺點，我們的做法在藏入特徵值的順序是從左而右，由上而下循序藏入，並不需要選取特定的區塊，也不需要紀錄藏入特徵值的區塊位置，再利用 RS Code [3][5]對特徵值進行編碼，讓藏入的特徵值有錯誤更正的能力，以提高資料的正確性，為了能夠抵抗列印掃描的嚴重失真破壞，我們利用 RS Code 編碼過後的特徵值藏入頻率域的中頻區域，未來利用藏入的特徵值與 Chain Code 來幫助我們圈出影像中連續的區域，然後根據圈選出的區域判斷該影像遭竄改的區域。

三、 相關技術簡介

離散餘弦轉換 (DCT)

乃是一種將影像由空間域轉換至頻率域的方法，公式如下：

$$D(i, j) = \frac{1}{\sqrt{2N}} C(i)C(j) \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \cos\left[\frac{(2x+1)i\pi}{2N}\right] \cos\left[\frac{(2y+1)j\pi}{2N}\right] \quad (1)$$

$$f(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2N}} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} C(i)C(j)D(i, j) \cos\left[\frac{(2x+1)i\pi}{2N}\right] \cos\left[\frac{(2y+1)j\pi}{2N}\right] \quad (2)$$

上式中 $f(x, y)$ 為空間域像素的位置， $D(i, j)$ 為頻率域的係數位置，而 $C(i)$ 及 $C(j)$ 則隨著 i, j 的變化而改變，當 i 等於 0 則 $C(i)$ 為 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ ，當 j 等於 0 則 $C(j)$ 為 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ ；當 i 不等

於 0 則 $C(i) = 1$ ，當 j 不等於 0 則 $C(j) = 1$ ，公式 (1) 又稱為離散餘弦正轉換 (Forward Discrete Cosine Transformation, FDCT)，即將影像由空間域轉換至頻率域；若需要把頻率域的資料轉換至空間域的資料時則須利用公式 (2)，又可以稱為離散餘弦反轉換

(Inverse DCT, IDCT)。數位影像由空間域轉換到頻率域可以將影像不同的頻率濾出，因此在頻率域中數位影像是以高低頻帶的方式來呈現，由於人類的眼睛對於影像的低頻區域較為敏感，而對於中高頻區域較不敏感，我們可以利用這種特性藏入浮水印，利用這種方式藏入的浮水印對於抵抗破壞有不錯的能力，為了讓藏入的特徵值能夠抵抗列印後掃描的嚴重失真，所以我們選擇利用離散餘弦轉換將影像由空間域轉換至頻率域，並以修改頻率域係數的方式來藏入邊緣特徵值，以便日後進行竊改偵測的工作。

鍊碼 (Chain Code)

在本篇的論文中，我們利用鍊碼的編碼方式幫助我們圈選出影像中連續的區域，將來再根據鍊碼圈選出的區域判斷影像中遭竊改的部位，鍊碼是依照固定的搜尋順序移動指標，利用鍊碼可以將影像的周圍圈選出來，一般在應用上有四個方向跟八個方向兩種，如下圖 1.：

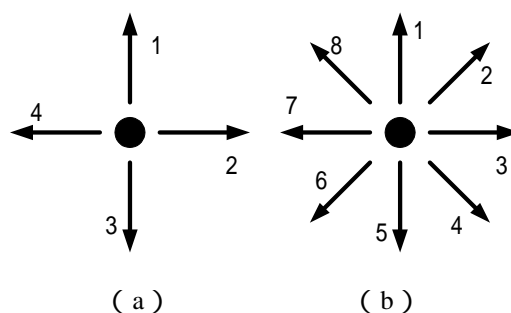


圖 1. 鍊碼搜尋順序

圖 1. 中的數字為鍊碼搜尋的順序，由於數位影像可以用二維空間平面來表示，像素可以視為陣列中的元素，所以我們可以利用鍊碼圈選出相連像素的邊緣範圍，在本篇論文中，我們採用四個搜尋方向的鍊碼，我們搜尋影像的順序是由上而下由左而右循序掃描，所以搜尋到的第一個位置會是區塊的最左上的位置，如圖 2.(a) 中的 A 點，然後就

$$\text{變異數} = \frac{\sum_{i=1}^l (x_i - \bar{x})^2}{l} \quad (3)$$

x : 區塊中每一點的像素值

\bar{x} : 區塊像素平均值

l : 區塊大小

當該區塊所計算的變異數大於我們訂定的門檻值時，即認定該區塊為有邊緣通過的區塊，則輸出 1；當該區塊所計算的變異數小於門檻值時，即認定該區塊為平滑區域，則輸出 0，所以總共會有 $(256 \times 256) / (4 \times 4) = 4096$ 個位元。我們必須訂定一個適當的門檻值，因為當門檻值設定太小所偵測出的邊緣資訊會太多；反之，若門檻值設定太大，則偵測出的邊緣資訊會太少，在本篇論文中我們以邊緣資料當做特徵值藏入原始影像中，將來欲進行竊改偵測時，再將藏入的邊緣特徵取出當做判斷的依據進行影像的竊改偵測，圖 4 為變異數示意圖。

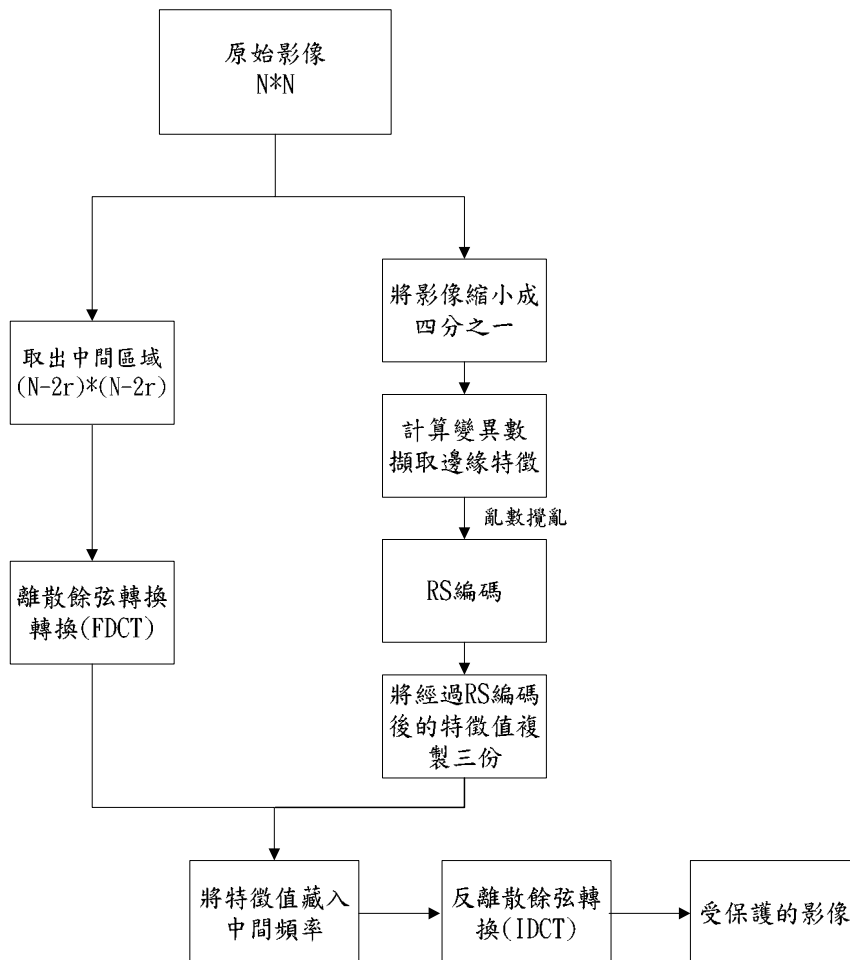


圖 3. 特徵值藏入流程圖



圖 4. 變異數示意圖

為了提高邊緣特徵的安全性，在藏入這些邊緣特徵之前我們必須將邊緣特徵的順序打亂，我們的做法是先給定一個亂數種值給亂數產生器使其可以產生一連串的數值，然後再根據這一連串的數值重新排列邊緣特徵的順序，將來在還原的時候也是利用相同的亂數種值重新排列還原成原始的順序，為了讓藏入的邊緣特徵能夠有錯誤更正的能力，我們必須把這些經亂數打亂的邊緣資訊做 RS Encode，在本篇論文中採用的 RS Code 參數為：

$$n = k + 2t = 255$$

$$k = 64$$

$$2t = 191$$

根據上述參數我們每次取 64 bits 進行編碼，經過 RS 編碼後長度會變成 255 bits，其中每 255 個 bits 有 $(\frac{2t}{2})$ 個 bits 的錯誤更正能力，因此特徵值經過 RS 編碼後總長度會變成 $(4096/64) \times 255 = 16320$ bits，又為了能夠加強邊緣特徵的正確性與容錯率，我們必須把這個經過 RS 編碼後的特徵值複製成三份，將來我們可以透過交叉比對的方式將三份資料整合成一份，藏入三份資料的好處是當其中一份資料發生錯誤時還可以比較其他兩份相同的資料，可以大大的提高資料的正確性，若只藏入一份邊緣特徵，如果發生錯誤的情形則沒有比較的依據。我們都知道數位影像在經過列印及掃描後對於影像的色階以及亮度都會造成很嚴重的破壞，其破壞的程度還會受到硬體設備的等級以及人為不當的操做方式所影響，為了能夠讓竄改偵測的工作能在一般的周邊設備進行且為了提高取出的特徵值的正確率，所以利用 RS 編碼以及將特徵值複製成三份的方式藏入資料，在本篇論文中，我們評定特徵值的正確率乃是採用位元正確率 (Bit Correct Ratio, 簡稱 BCR)，其公式為：

$$BCR = \frac{\sum_{i=1}^{W_h} \sum_{j=1}^{W_w} w(i, j) \oplus w'(i, j)}{W_h \times W_w} \times 100\% \quad (4)$$

式中， $W_h \times W_w$ 為原始特徵值的大小，而 $w(i, j)$ 為原始特徵值在座標 (i, j) 的值，而 $w'(i, j)$ 則取出的特徵值在座標 (i, j) 的值，由公式 (4) 可知，當位元正確率越高，也就是越接近 1 的時候，表示兩特徵值的相似程度越高，反之若位元正確率越低，則表示兩

特徵值的差異程度越大。

到目前為止，我們已經完成了編碼的動作，再來就是要選擇特徵值所要藏入的位置，經過我們的觀察發現，當一張影像經過列印後再掃描入電腦中時，在影像邊緣地帶會有模糊不清的情形發生，如下圖 5.(b)所示：

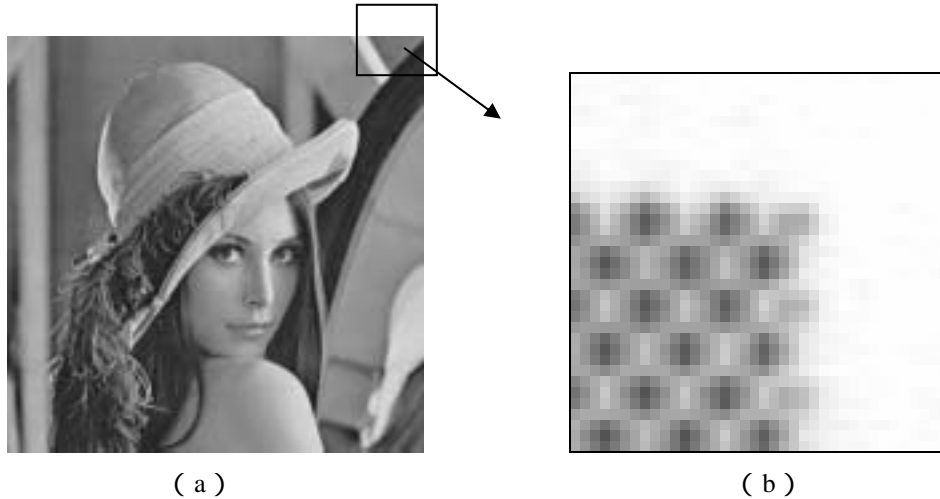


圖 5. 掃描影像邊緣區域

若是我們將特徵值藏入整張影像中，雖然會有較多的區塊可供藏入之用，但將來在邊緣區域取出的特徵值正確率會受到些許的影響，為了能夠提升取出的特徵值的正確率，因此我們只取中間區域進行離散餘弦轉換，作為藏入特徵值的區域，範圍如下圖 6.(b)所示，圖 6.(a)中黑色實線所框選的區域即是中間區域。



圖 6. 影像中間區域

我們的做法是取一張影像的中間區域進行離散餘弦轉換的工作，若欲進行離散餘弦轉換的 block size = $r \times r$ 則中間區域為 $(N-2r) \times (N-2r)$ 。 ，所以我們總共會有

$$\frac{(N-2r) \times (N-2r)}{r \times r}$$

個 block 可以藏入特徵值，然後我們選擇經過離散餘弦轉換後每個

區塊的中間頻率作為藏入特徵值的位置，如下圖 7.所示：

0	1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30	31
32	33	34	35	36	37	38	39
40	41	42	43	44	45	46	47
48	49	50	51	52	53	54	55
56	57	58	59	60	61	62	63

圖 7. 頻率域藏入位置

我們所要藏入的特徵值總數為 $16320 \times 3 = 48960$ bits (三份資料量), 因為我們只取影像之中間部分供我們藏入特徵值, 以一張 512×512 的影像來計算我們總共會有

$$\frac{(512-16) \times (512-16)}{8 \times 8} = 3844 \text{ 個區塊可供我們藏入特徵值, 因此在每個區塊內至少要藏}$$

入 $\frac{48960}{3844} \approx 13$ 個 bits 才能夠將所有的特徵值藏入, 選擇藏入的位置的時候須選擇對影像破壞程度最小且抵抗破壞失真能力最強的位置, 圖 7. 中 13 個頻率域位置是本篇論文

藏入特徵值的位置, 藏入特徵值的順序為由左到右由上到下循序藏入區塊中, 為了讓藏入的特徵值能夠抵抗列印掃描的失真, 我們採用階段性的方式藏入特徵值, 我們會設定一個區段 (Step) 並根據特徵值的不同以及頻率域係數值正負的不同做不同的修改, 公式如下:

$$DCT_{ij} = \left(\left\lfloor \frac{DCT_{ij}}{STEP} \right\rfloor \times STEP \right) + \left\lfloor \frac{STEP}{2} \right\rfloor, \text{ if } \left\lfloor \frac{DCT_{ij}}{STEP} \right\rfloor \bmod 2 = 0, DCT_{ij} > 0, C_i = 0 \quad (5)$$

$$DCT_{ij} = \left(\left\lfloor \frac{DCT_{ij}}{STEP} \right\rfloor + 1 \right) \times STEP + \left\lfloor \frac{STEP}{2} \right\rfloor, \text{ if } \left\lfloor \frac{DCT_{ij}}{STEP} \right\rfloor \bmod 2 \neq 0, DCT_{ij} > 0, C_i = 0 \quad (6)$$

$$DCT_{ij} = \left(\left\lfloor \frac{DCT_{ij}}{-STEP} \right\rfloor \times -STEP \right) - \left\lfloor \frac{STEP}{2} \right\rfloor, \text{ if } \left\lfloor \frac{DCT_{ij}}{-STEP} \right\rfloor \bmod 2 = 0, DCT_{ij} < 0, C_i = 0 \quad (7)$$

$$DCT_{ij} = \left(\left\lfloor \frac{DCT_{ij}}{-STEP} \right\rfloor + 1 \right) \times -STEP - \left\lfloor \frac{STEP}{2} \right\rfloor, \text{ if } \left\lfloor \frac{DCT_{ij}}{-STEP} \right\rfloor \bmod 2 \neq 0, DCT_{ij} < 0, C_i = 0 \quad (8)$$

$$DCT_{ij} = \left(\left\lfloor \frac{DCT_{ij}}{STEP} \right\rfloor + 1 \right) \times STEP + \left\lfloor \frac{STEP}{2} \right\rfloor, \text{ if } \left\lfloor \frac{DCT_{ij}}{STEP} \right\rfloor \bmod 2 = 0, DCT_{ij} > 0, C_i = 1 \quad (9)$$

$$DCT_{ij} = \left(\left\lfloor \frac{DCT_{ij}}{STEP} \right\rfloor \times STEP \right) + \left\lfloor \frac{STEP}{2} \right\rfloor, \text{ if } \left\lfloor \frac{DCT_{ij}}{STEP} \right\rfloor \bmod 2 \neq 0, DCT_{ij} > 0, C_i = 1 \quad (10)$$

$$DCT_{ij} = \left(\left\lfloor \frac{DCT_{ij}}{-STEP} \right\rfloor + 1 \right) \times -STEP - \left\lfloor \frac{STEP}{2} \right\rfloor, \text{ if } \left\lfloor \frac{DCT_{ij}}{-STEP} \right\rfloor \bmod 2 = 0, DCT_{ij} < 0, C_i = 1 \quad (11)$$

$$DCT_{ij} = \left(\left\lfloor \frac{DCT_{ij}}{-STEP} \right\rfloor \times -STEP \right) - \left\lfloor \frac{-STEP}{2} \right\rfloor, \text{ if } \left\lfloor \frac{DCT_{ij}}{-STEP} \right\rfloor \bmod 2 \neq 0, DCT_{ij} < 0, C_i = 1 \quad (12)$$

$$if \left\lfloor \frac{|DCT_{ij}|}{Step} \right\rfloor \bmod 2 = 0 \text{ then } C = 0, \text{ else } C = 1 \quad (13)$$

式中 DCT_{ij} 為挑選出的頻率域係數值， C_i 為預藏入的特徵值，無論經過任何一個公式修改，最後該頻率係數值都會修改成對應區段的中間值，假設區段大小為 15，當我們要藏入的特徵值為 0，且該頻率域係數值為正數+3 且 $\left\lfloor \frac{+3}{Step} \right\rfloor \bmod 2 = 0$ 帶入公式 (5)，

$$\left\lfloor \frac{DCT_{ij}}{Step} \right\rfloor \times Step + \left\lfloor \frac{Step}{2} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{3}{15} \right\rfloor \times 15 + \left\lfloor \frac{15}{2} \right\rfloor = +7 ; \text{ 當我們要藏入的特徵值為 1，且未}$$

頻率域係數為負數-3 且 $\left\lfloor \frac{-3}{-Step} \right\rfloor \bmod 2 = 0$ 帶入公式 (11)，

$$\left(\left\lfloor \frac{DCT_{ij}}{-Step} \right\rfloor + 1 \right) \times -Step - \left\lfloor \frac{Step}{2} \right\rfloor = \left(\left\lfloor \frac{-3}{-15} \right\rfloor + 1 \right) \times (-15) - \left\lfloor \frac{15}{2} \right\rfloor = -22, \text{ 重複上述步驟就}$$

可將特徵值藏入頻率域係數之中，當我們要取出特徵值時，套用公式 (13) 將修改過後的

頻率域係數值帶入 $\left\lfloor \frac{|DCT_{ij}|}{Step} \right\rfloor \bmod 2$ ，我們可以得到 $\left\lfloor \frac{|+7|}{15} \right\rfloor \bmod 2 = 0$ ，

$\left\lfloor \frac{|-22|}{15} \right\rfloor \bmod 2 = 1$ ，0 與 1 就是我們當初藏入的特徵值，設定一個區段主要的目的是為

了讓影像在經過列印掃描後，能夠有容許誤差的空間即區段的大小就是容許誤差的大小，如圖 8.所示，不過值得注意的是，雖然將區段設定成較大的範圍可以有較佳的容錯率，但區段範圍設定過大時，影像將會受到較嚴重的破壞，相對地影像品質就會比較差，反之若將區段設定成較小的範圍，雖然會得到品質較佳的影像且較接近原始影像，但是會降低經過列印掃描後取出特徵值的正確率即容錯率較低，所以在特徵值的容錯率與影像品質上我們必須做取捨。

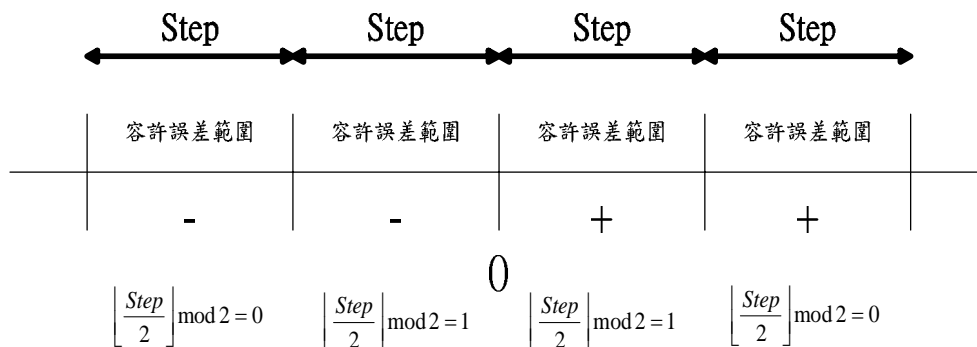


圖 8. 係數修改示意圖

在本篇論文中，評定一張影像的品質採用下列公式；

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{MSE} dB \quad (14)$$

$$MSE = \left(\frac{1}{m^2} \right) \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{m-1} (\alpha_{ij} - \beta_{ij})^2 \quad (15)$$

式 (13) 中的 MSE (Mean Square Error) 表兩張大小 $m \times m$ 灰階影像的均方差， α_{ij} 為原始影像 (i,j) 位置上的像素值， β_{ij} 為經過處理過後的影像 (i,j) 位置上的像素值，PSNR 值是用來比較兩張數位影像的相似程度，PSNR 值介於 $0 \sim \infty$ ，當 PSNR 值越接近 0 則表示兩張數位影像越不相似，反之若越接近 ∞ 則表示兩張數位影像越相似，一般而言當 PSNR 值接近 30 左右，其相似程度就可被接受；完成了藏入動作之後，我們就可以將已經藏入特徵值的影像做反離散餘弦轉換的動作將影像由頻率域轉換成空間域，再結合原始影像中未做離散餘弦轉換的邊緣部份，這樣就完成了藏入特徵值的動作，輸出的影像即是受到保護的影像。

竄改偵測流程圖如下：

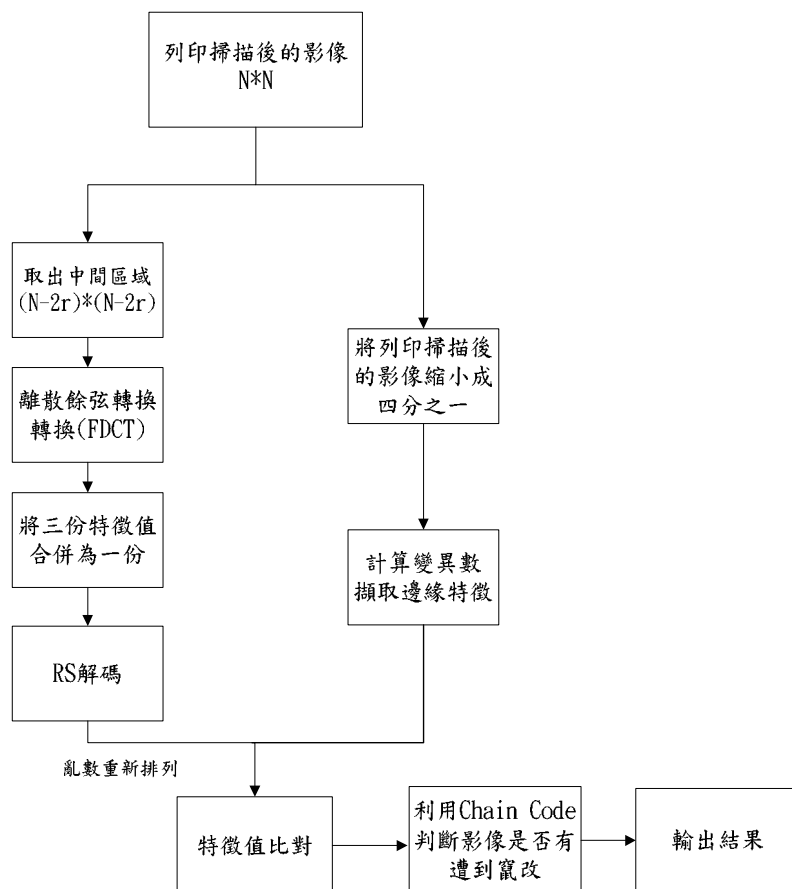


圖 9. 竄改偵測流程圖

當進行列印後掃描影像的竊改偵測時，我們先將列印後的影像經由掃描器輸入至電腦中，同樣地取出影像的中間部分進行離散餘弦轉換，依照圖 7.的位置將每個區塊中對應的頻率域係數一一取出，然後將取出的頻率域係數值帶入公式 (13) 中，如果該頻率域係數帶入公式 (13) 計算後的值等於 0，則表示當初我們藏入的特徵值為 0，反之若該頻率域係數帶入公式 (13) 計算後的值等於 1，則表示當初我們藏入的特徵值為 1，重複上述步驟就可以將藏入的特徵值完全的取出，因為我們藏入的特徵值有三份，所以我們必須將其整合為一份，假設藏入的資料為 ABC 三份，我們的做法是當 B=C 的時候，修改資料 A 的內容使得 A 等於 B，若 $B \neq C$ ，則資料 A 不做任何修改，當完成所有的比對動作後資料 A 就是三份資料交叉比對的結果，然後再將 A 的資料做 RS Decode，RS

Code 的參數同樣為：

$$n = k + 2t = 255$$

$$k = 64$$

$$2t = 191$$

完成 RS decode 的工作後我們會得到更正過的特徵值，我們利用相同的亂數種值產生一連串的數值，再根據這一連串的數值就可以還原特徵值原本的排列順序，接下來我們將列印掃描後的影像縮小成原圖的四分之一，同樣地利用公式 (3) 計算變異數取出邊緣資料，將計算出來的邊緣資料與我們取出的特徵值做 XOR 我們就可以得到列印掃描後影像邊緣資料與藏入的邊緣資料的差異值，對於邊緣資料的差異值我們可以用一個二維陣列來表示如下圖 10.(a)，若列印掃描後的邊緣資料與藏入的邊緣資料不同時，我們以黑點來表示，反之若邊緣資料相同的時候我們以白點來表示，然後我們再利用 Chain Code，就可以把影像中連續的區域圈選出來，以便進行竊改偵測的判斷，圈選的部分如下圖 10.(b)所示。

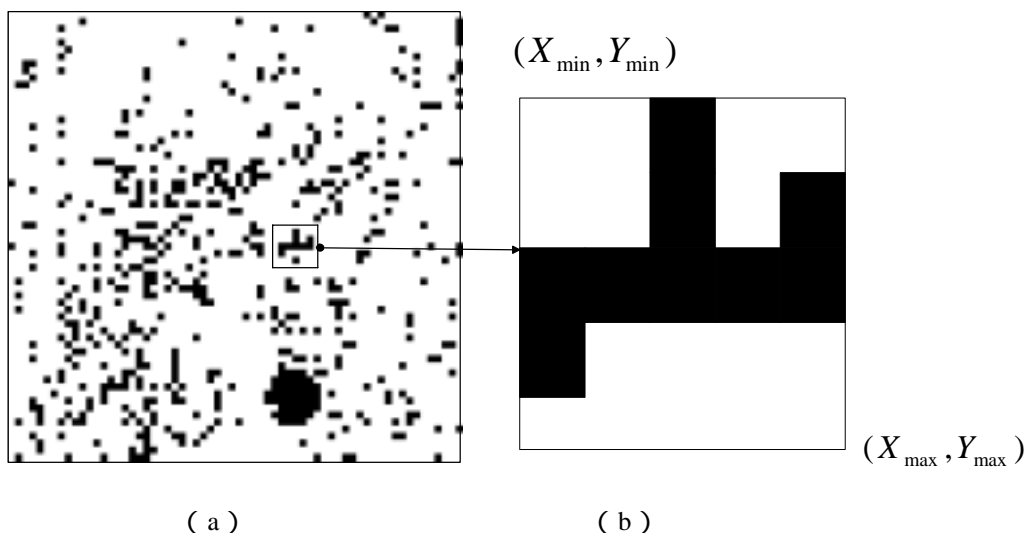


圖 10. 圈選區域示意圖

在使用 Chain Code 的時候我們必須給定一個門檻值，我們訂定的範圍參考上圖 10.(b)，設 Chain Code 圈選的區域範圍最左上角為 (X_{\min}, Y_{\min}) ，而最右下角為 (X_{\max}, Y_{\max}) ，我們會計算在 $(X_{\max} - X_{\min})$ 及 $(Y_{\max} - Y_{\min})$ 的區域裡面黑點佔圈選區域的比例，當該比率

大於我們所訂定的門檻值的時候，即判定該區域為遭受竄改的區域，當我們在訂定門檻值的時候必須注意一件事情，因為列印掃描的失真是全面性的失真，所以在取出藏入的特徵值的時候可能就會有誤差的產生，當門檻值訂定不恰當時可能會有判斷錯誤的情形發生，若是門檻值定太大則不易判斷影像是否遭到竄改，反之若是門檻值定太小則可能會將連續雜點的部分誤判為遭受竄改的區域，為了能夠把這種誤差去除，所以在圈選連續範圍時我們必須做一些必要的判斷，若所圈選的範圍為奇數則維持不變，但若圈選的區域範圍為偶數，則將範圍加 1 即擴大判定範圍，如上圖 10.(b)所示，圈選的區域原本為 4×5 的區塊，更動後所圈選的區域則變成 5×5 ，我們在根據這個範圍大小去計算該範圍有多少黑點的存在即計算黑點佔該區域的比率，若所圈選的區域只有一個黑點即 1×1 的區塊，則視該區塊為雜點不處理。

五、實驗分析

本論文所使用的實驗平台為：

Pentium III 667 MHz 處理器、256MB RAM、作業系統為 Windows 2000、掃描器為 VUEGO 310P、印表機為 HP LaserJet 2100、程式撰寫工具為 Java 1.2.1，在 RS Code 的實做方面我們利用 Matlab R12 的內建函數以及採用 Ulead PhotoImpact 6.0 影像處理軟體，作為實驗的輔助工具。

本論文的實驗印表機與掃描器的解析度皆定為 600 dpi，我們可以從表 1.中發現，因為我們以修改頻率域係數的方式藏入特徵值，所以藏入特徵值後的影像邊緣特徵圖 11.(e)跟原始影像邊緣特徵圖 11.(d)就會有微量的差異，影像經列印掃描後的邊緣特徵圖 11.(f)會與原始影像邊緣特徵圖 11.(d)差距更大，這是因為列印及掃描失真所造成的情況，我們可以從還沒有列印的影像圖 11.(b)中取出我們藏入的特徵值圖 11.(g)，也可以在影像列印掃描後圖 11.(c)再取出藏入的特徵值圖 11.(h)，無論在列印前或是列印掃描後皆可透過我們提出的方法取出藏入的特徵值，可從上表看出當影像未列印前取出的特徵值正確率為 100%，而影像經列印掃描後的正確率卻只能達到 93.8%，正確率無法達到百分之百的原因除了硬體設備所造成的失真之外，還有一些人為的因素影響例如列印或掃描的時候影像就已經偏移等等因素所造成的結果。

圖 12.(a)為保護影像尚未列印前就已經遭受竄改，經過列印掃描後可以得到圖 12.(b)的影像，圖 12.(c)為列印掃描後影像的邊緣特徵，圖 12.(d)為藏入的邊緣特徵，我們可以從圖 12.(e)中看到兩者間的差異，圖 12.(f)(g)是經過判斷後影像遭竄改的區域。

圖 13.(a)為列印後遭受竄改的影像，我們可以看到在影像的右下方有偽造的簽名，圖 13.(b)為列印掃描後影像的邊緣特徵，圖 13.(c)為藏入的特徵值，圖 13.(d)為兩邊緣特徵的差異，圖 13.(e)(f) 是經過判斷後影像遭竄改的區域。



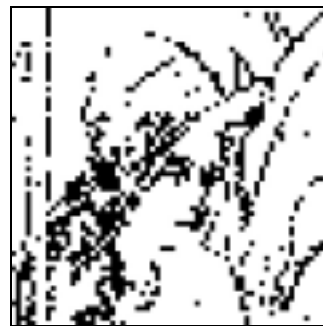
(a) 原始影像 (b) 藏入特徵值後的影像 (c) 列印後掃描的影像



(d) (a)影像邊緣特徵 (e) (b)影像邊緣特徵 (f) (c)影像邊緣特徵



(g) 取出的影像邊緣特徵 (未列印前)

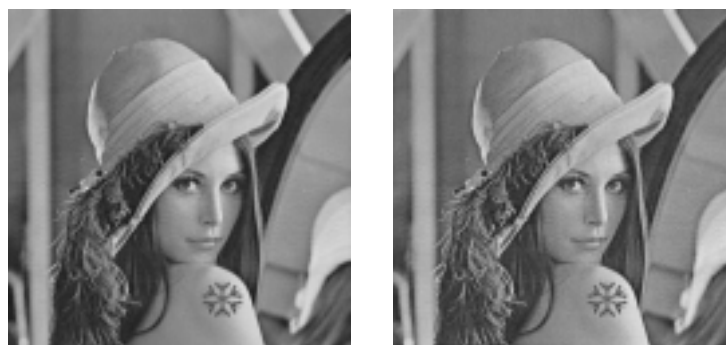


(h) 取出的影像邊緣特徵 (列印後掃描)

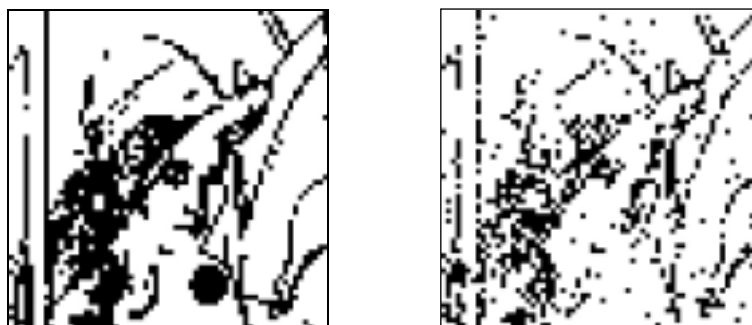
圖 11. 實驗結果(1)

表 1. 影像相似度

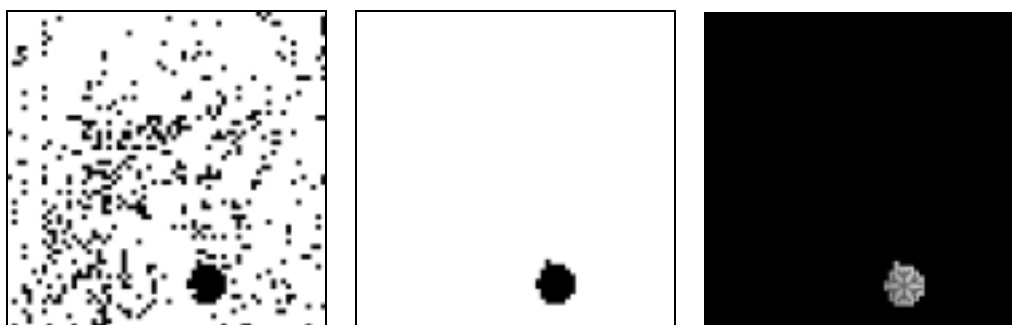
	PSNR	邊緣特徵值相似程度 (BCR)	取出的邊緣特徵值相似程度 (BCR)
原始影像	∞	100%	
藏入特徵值後的影像	36	99.3%	100%
列印後掃描的影像	23.523	94.8%	93.8%



(a) 列印前遭竄改的影像 (b) 列印後掃描的影像



(c) 列印後掃描影像的邊緣特徵 (d) 取出的邊緣特徵



(e) 邊緣特徵差異比較結果 (f) 遭受竄改區域 (利用鍊碼) (g) 遭受竄改區域的原始位置

圖 12. 實驗結果(2)

表 2. 影像相似度(列印前遭竄改)

	PSNR	特徵值相似程度 (BCR)	特徵值還原正確 率 (BCR)
原始影像	∞	1	
藏入特徵值後的影像	36	99.3%	100%
列印前遭竄改的影像	30.918	97.7%	100%
列印後掃描的影像	25.495	94.5%	91.5%

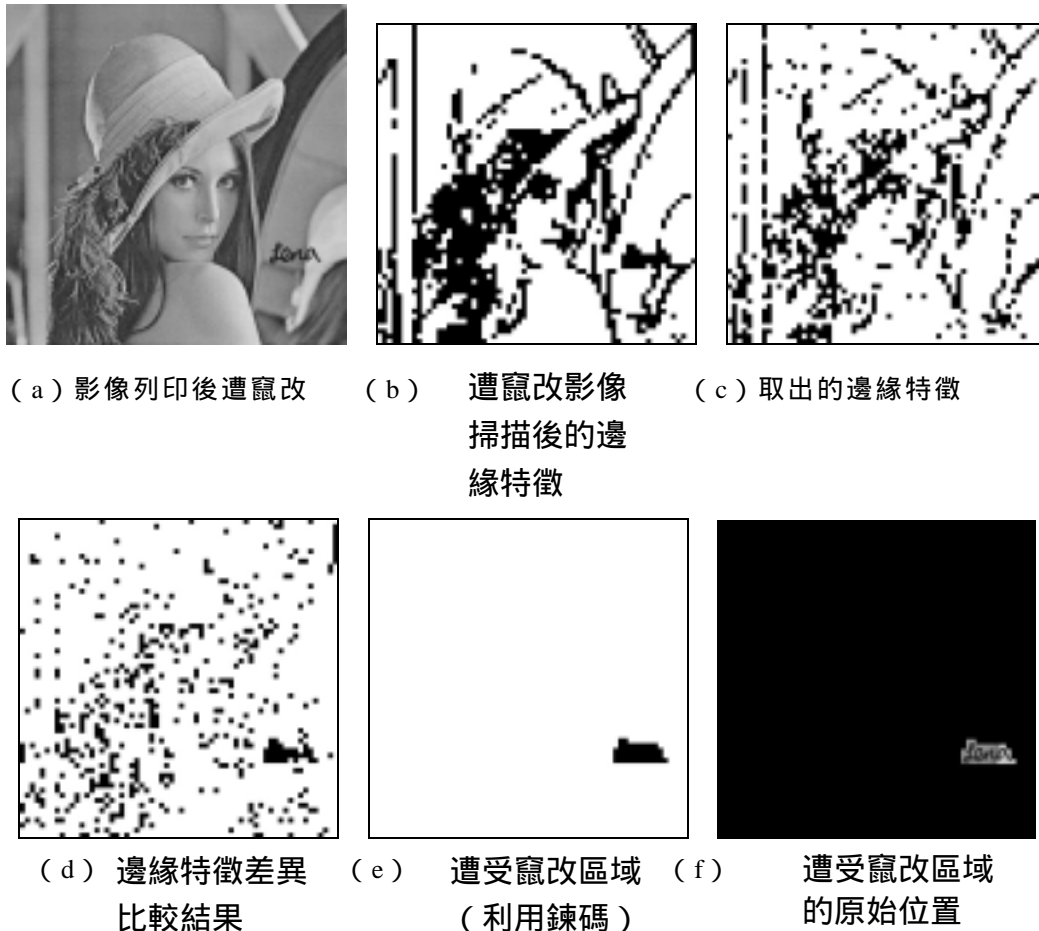


圖 13. 實驗結果(3)

表 3. 影像相似度(列印掃描後遭竄改)

	PSNR	特徵值相似程度 (BCR)	特徵值還原正確率 (BCR)
原始影像	∞	1	
列印後遭竄改的影像	25.05	94.1%	93.8%

六、 結論

目前數位影像在網路上的流通相當頻繁，但其安全性相當令人隱憂，而我們所提出的方法能夠明確的指出影像中遭受竄改的部位，不論竄改的動作是在電腦中進行或是列印後遭受人為竄改，除此之外藏入的特徵值也能抵抗列印掃描後所產生的嚴重失真，大幅提升了數位影像的安全性。相信在我們的方法保護下，能夠提供創作者有更良好且安全的創作環境，使創作者提高創作的意願，而無需擔心遭到不法的竄改。

參考文獻與著作

- [1] E. T. Lin, C. I. Podilchuk and E. J. Delp, "Detection of image alterations using semi-fragile watermarks," in *Proceedings of Security and Watermarking of Multimedia Contents*, January 2000, pp. 152-163.
- [2] A. Tefas and I. Pitas, "Image authentication and tamper proofing using mathematical morphology," in *Proceedings of EUSIPCO 2000*, European Signal Processing Conference, September 2000, Vol. 3, pp. 1681-1684.
- [3] C. C. Chang, H. C. Hsia, and T. S. Chen, "Reliable information hiding for printed images," in *Proceedings of 2000 International Symposium on Information Theory and Its Applications*, November 2000, Vol. 1, pp. 97-100.
- [4] J. Huang, Y. Q. Shi, and Y. Shi, "Embedding Image Watermarks in DC Components," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Image Technology*, 2000, Vol. 10, No. 6, pp. 974-979.
- [5] Shu Lin, Daniel J., and Costello Jr, "Error Control Coding: Fundamentals and Applications," Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1983.
- [6] 陳同孝、林泉成, "一種利用數位離散餘弦轉換及影像邊緣偵測技術設計之列印後影像竄改防治系統", 台北科技大學 - 2000 年科技與管理學術研討會論文集, pp. 419-426.
- [7] 張真誠、黃國峰及陳同孝, "電子影像技術 (Electronic Imaging Techniques)", 松崗電腦圖書資料股份有限公司, 2000 年 12 月。
- [8] 陳同孝、張真誠及黃國峰, "數位影像處理技術", 松崗電腦圖書資料股份有限公司, 2001 年 1 月。