

強韌型灰階數位浮水印技術

Robust Gray-level Digital Image Watermarking Techniques

邱于真

真理大學資訊管理學系

xy0412@ms58.hinet.net

張元馨

真理大學資訊管理學系

angelcyh@seed.net.tw

謝明興

真理大學副教授

shiehms@ms21.hinet.net

摘要

數位浮水印技術必須具有不易察覺性與強韌性兩個條件，使原作能抵抗各種攻擊，本研究將針對此來分析可滿足兩者條件的方法。本論文的實驗技術使用小波轉換，利用小波樹(wavelet tree)的觀念尋找適當的位置來嵌入浮水印，且利用 *JPEG* 失真壓縮對嵌入浮水印後的影像做攻擊，以驗證數位浮水印的不易察覺性及強韌性兩個條件，利用小波樹

(wavelet tree)之各波段計算方式，其方式與以往直接排序後選擇係數大者嵌入浮水印方法來作比較，本實驗數據顯示小波樹(wavelet tree)方法比直接排序方法更滿足浮水印的條件，以及實驗小波樹(wavelet tree)各階層權重比例下最佳的權重比。

關鍵字：小波轉換、數位浮水印、*JPEG* 失真壓縮、wavelet tree

一、前言

除了傳統的文數字資料之外，現今多媒體資料的類型還包含了聲音(Audio)、影像(Image) 視訊(Video)以及動畫(Animation)等各種類型，不同型態的多媒體資料，各有各不同的數位浮水印技術，而本論文的研究範圍是在灰階影像的數位浮水印技術方面，並且要禁得起在相當程度的影像失真攻擊後仍能將浮水印取出做為所有權確認之用。

數位浮水印必須具備有：不易察覺、明確性、強韌性、抵抗破壞等特性[2]。本論文提出了利用小波轉換(discrete wavelet transform, *DWT*)之技術，引入小波樹(wavelet tree)的觀念，尋找適當嵌入浮水印的位子，並且在經過 *JPEG* 失真壓縮攻擊之後，仍能將浮水印取出且仍能辨識出浮水印影像。

二、小波轉換

本節將討論以小波轉換為基礎的影像處

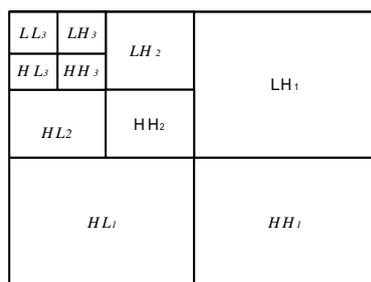
理技術，以離散小波轉換(Discrete Wavelet Transform, *DWT*)為基礎的數位浮水印技術是 Kim 在 1999 年時所提出[11]，他的方法是必須把浮水印加在影像中最重要的部分，也就是如同 *DCT* 編碼的方法一樣，嵌入在 DC 係數上，同時應用展頻的概念，把浮水印散佈在各個頻帶間。而本實驗以小波轉換為基礎，利用 $Y(u, v) = X(u, v) + a * W(u, v)$ 公式來嵌入浮水印， a 是表示嵌入浮水印的強度， a 愈大表示其浮水印愈能抵抗攻擊，但嵌入浮水印後對原始影像的破壞愈大，反之， a 愈小對嵌入浮水印的原始影像破壞性小，但嵌入後的影像不耐攻擊。 $Y(u, v)$ 代表嵌入浮水印後的影像係數， $W(u, v)$ 代表浮水印資料，而 $X(u, v)$ 則是利用小波樹(wavelet tree)的觀念，尋找適當嵌入浮水印的原始影像的係數。

小波轉換技術

*This work was supported in part by the National Science Council, R.O.C. grant: NSC 92-2213-E-156-004-

一維訊號的小波轉換(DWT)基本概念：將訊號分離成高頻與低頻兩部分，其中高頻部分主要是由訊號灰色差的稜角(edge component)所組成；可繼續將低頻部分再分離成高頻、低頻的成分，並根據所需的等級重複進行此步驟，再藉由這些小波轉換的係數回復成原影像圖形的訊號，此回復程序稱為 Inverse DWT(IDWT)。

對於二維的訊號，使用類似的方法進行小波轉換(DWT)程序，因此，可將一張影像圖形分離成金字塔(pyramid)的架構。將二維影像依垂直與水平的掃描方式，將頻率域的最外層，以垂直與水平方向將整個圖形分解成高、低頻四波段(LL₁、HL₁、LH₁、HH₁)，再將最低頻的波段(LL₁)做相同轉換，而得到第二層波段(LL₂、HL₂、LH₂、HH₂)，本論文將圖形做三層波段分解，最後得到如圖一階層式架構。

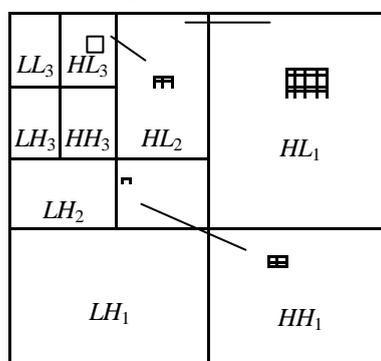


圖一：三層小波分解圖

人的視覺對高頻部份的變化比較不敏銳，如果在影像中，高頻和低頻的部份，各自加入一樣的改變量，則在視覺上比較容易發現低頻的改變，也就是在高頻的部份，視覺上容許植入較高的數位浮水印強度[5]。選擇高頻的地方嵌入浮水印，對原始影像的破壞性較低，不過，影像在傳輸的過程中，為了使傳輸的資料量減少，常常會對影像作壓縮處理，而一般的影像壓縮過程中，為了保護影像品質，都會選擇較高頻的部份為主，如果我們的數位浮水印依然嵌入到高頻的部份，則無法擁有對影像壓縮的能力，因此必須重新尋找適當嵌入數位浮水印的位置。在本篇論文中，我們使用小波分解，將影像分到第三層，而分解成十個部份

(LL₃、LH₃、HL₃、HH₃、LH₂、HL₂、HH₂、LH₁、HL₁、HH₁)，如圖一，並且引入小波樹的觀念，使不同階層、尺寸的波段做空間上的對應，尋找適當的位置來嵌入浮水印。

小波樹(wavelet tree)主要的原理[1]，在於小波轉換後，相同方向之上、下子空間(subband)相對位置之間的係數彼此是有關係的，如在HL₃ sub-band中隨機選擇一個係數，將這個係數稱為父係數(Parent Coefficient, PC)，找到父係數之後，到HL₂中的相對位置找到四個子係數(Child Coefficient, CC)，再到HL₁中的相對位置找到十六個子係數如圖二，因此以第三層的波段為基礎，該階層的每一個係數皆可以對映到四個第二層波段的係數，而每個第二層波段的係數亦可對應四個第一層波段的係數，利用此種對映關係，可以建立一個小波樹結構。由三階層的二十一個節點所構成的樹狀資料結構即是所謂的小波樹(wavelet tree)。本實驗是將此二十一個節點係數加總排序選擇大的係數，對映到HL₃的原始影像係數，再嵌入排序之後的浮水印。



圖二、小波樹(wavelet tree)之示意圖

浮水印技術必須滿足的需求「強韌性」，是指影像被嵌入浮水印之後，即使影像遭受到一些特殊的處理或攻擊，只要影像仍具有不錯的品質，浮水印就應該可以被還原出來。

JPEG 壓縮處理

JPEG 為失真壓縮技術，是利用小波轉換(Wavelet transform) 為主的多解析編碼方式，將影像資料中較高頻的部份去除，只保留低頻

的資訊，因低頻部分可保留影像之全貌，而高頻部分則發生在所謂的邊緣(edge)，再利用肉眼對變化較劇烈的邊緣處之不敏感性，以達到可高壓縮率而不影響影像品質的目的，而這是無失真壓縮所做不到的[6]。

本實驗以常見的JPEG壓縮處理攻擊來驗證浮水印的強韌性。

三、浮水印嵌入與取出程序

我們將分別解釋小波樹嵌入方法與計算權重值嵌入方法的實驗步驟。其嵌入與取出的影像如圖七與圖八所示。

3.1 小波樹(wavelet tree)嵌入與取出實驗步驟

(一)原始影像嵌入浮水印之步驟如圖三所示：

步驟 1. 將原始影像(Host image)及浮水印(Watermark)分別做三階層的小波轉換(DWT)。

步驟 2.

(1)將原始影像(Host image)小波轉換後的 LH_1 、 HL_1 、 HH_1 及 LL_3 各波段做排序(sort),以及將 LH_2 、 HL_2 、 HH_2 、 LH_3 、 HL_3 、 HH_3 各波段依小波樹方式計算後做排序(sort),方法是:其中 LH_3 、 HL_3 、 HH_3 是隨機選擇到一個係數,找到其相對的 LH_2 、 HL_2 、 HH_2 各四個子係數,再找到其相對映 LH_1 、 HL_1 、 HH_1 的十六個係數,將其二十一個係數相加,把總和排序對映到原始影像的係數,再將原始影像的係數作排序,依每個波段選取浮水印範圍來準備嵌入浮水印。

而 LH_2 、 HL_2 、 HH_2 也是各波段依小波樹方式計算後做排序(sort),方法是:隨機選擇到一個係數,找到 LH_1 、 HL_1 、 HH_1 相對位置的各四個子係數,將這五個係數相加,將總和排序對映到原始影像的係數,再將係數作排序,將每個波段選取浮水印範圍來準備嵌入浮水印。

(2)將 LL_3 、 HL_1 、 LH_1 、 HH_1 直接作排序。

步驟 3. 將浮水印(Watermark)小波轉換後各波段之係數做排序(sort)。

步驟 4. 各波段採用各種計算方式後的值所對映原始影像(Host image)的係數做排序(sort),然後選擇係數大的點嵌入浮水印(Watermark)。

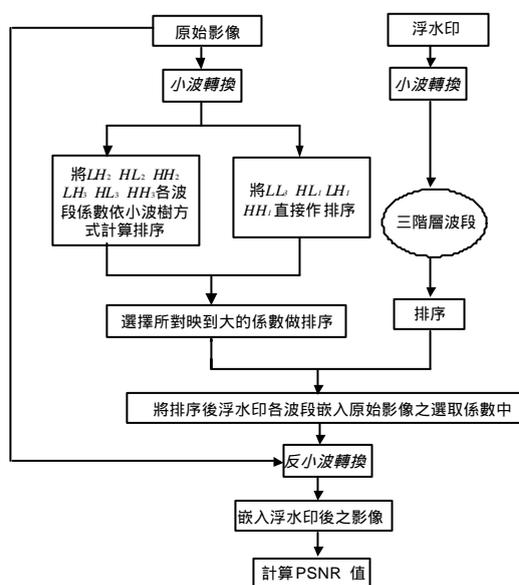
步驟 5. 將嵌入浮水印後之影像做反小波轉換(IDWT)。

步驟 6. 利用原始影像與嵌入浮水印反小波轉換後之影像互相比較,計算PSNR值。

由[5]得知PSNR公式如(1)

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{m * n * 256^2}{|z - Z|^2} \quad (1)$$

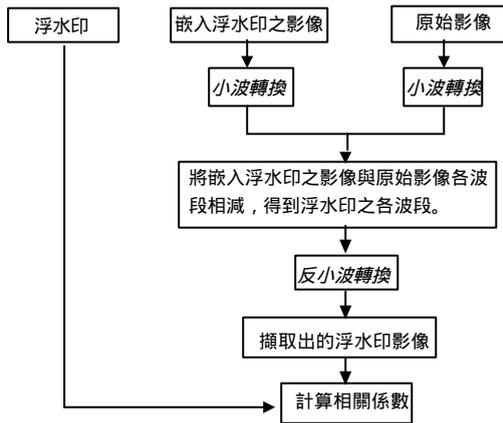
$m * n$ 為原始影像的大小,從(1)式中可發現,主要影響PSNR的值為原始影像(Z)和已嵌入數位浮水印的影像(z)之間的差值。當PSNR愈高時,表示其嵌入的數位浮水印對影像品質的破壞程度愈小,反之,PSNR愈小時,表示嵌入的數位浮水印對原始影像的品質破壞程度愈大,且視覺容易察覺出其原始影像的變化。



圖三：嵌入浮水印流程圖

(二)影像中取出浮水印之步驟如圖四所示：

- 步驟 1. 將原始影像(Host image)與嵌入浮水印之影像分別做三階層小波轉換(DWT)分解。
- 步驟 2. 原始影像(Host image)各波段係數與嵌入浮水印影像之各波段係數相減。
- 步驟 3. 各波段係數相減後之波段做反小波轉換(IDWT)，而取出浮水印(Watermark)。
- 步驟 4. 所取出的浮水印與原始的浮水印計算相關係數值(correlation)，相關程度介於 0 到 1 之間，數值愈大，表示擷取出來的浮水印與原始浮水印就越接近。



圖四：取出浮水印流程圖

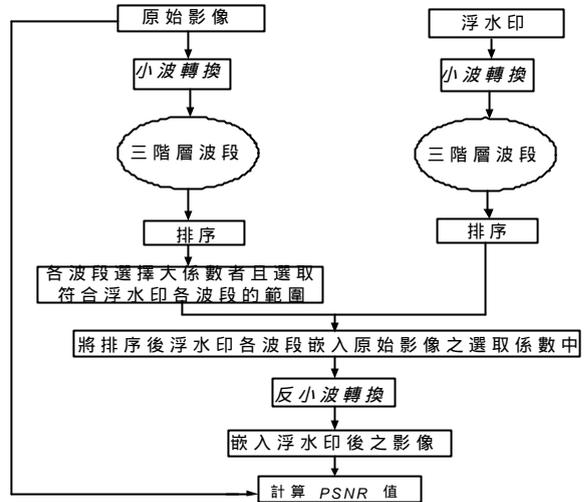
3.2 直接排序嵌入與取出實驗步驟

(一)原始影像嵌入浮水印之步驟如圖五所示：

- 步驟 1. 將原始影像(Host image)及浮水印(Watermark)分別做三階層的小波轉換(DWT)。
- 步驟 2. 將原始影像(Host image)各波段採用權重計算方式之後做排序(sort)。
- 步驟 3. 將浮水印(Watermark)之係數做排序(sort)。
- 步驟 4. 將原始影像(Host image)各波段的係數做排序(sort)，然後選擇係數大的點嵌入浮水印(Watermark)。
- 步驟 5. 將嵌入浮水印後之影像做反小波

轉換(IDWT)。

- 步驟 6. 利用原始影像與反小波轉換後之影像互相比較，計算 PSNR 值。



圖五：嵌入浮水印流程圖

(二)影像中取出浮水印之步驟如圖四(與小波樹之擷取出浮水印步驟相同)。

四、實驗結果

底下的小節將討論以往所使用的直接排序後選擇係數大者嵌入浮水印的方法與本論文所使用的小波樹尋找適當位置嵌入的方法，兩者嵌入與取出的未壓縮實驗，以及對嵌入浮水印後的原始影像在各種壓縮品質下及影像處理攻擊 JPEG 之後所擷取出的浮水印實驗，檢驗加入浮水印的影像品質，以及擷取出來浮水印的強韌度，最後小節將討論使用小波樹的方法比較其各階層間的權重比例，實驗出哪種權重更能符合浮水印的不易察覺性及強韌性兩個條件的要求。

4.1 未壓縮下直接排序與小波樹之實驗比較：

在嵌入浮水印的原始影像方面，我們使用了一張尺寸為 512*512 的 Lenna 灰階影像，在浮水印方面我們使用 64*64 的灰階 pepper 圖，使用小波樹方法將浮水印嵌入後的 Lenna 圖形如圖六，計算 PSNR 值，其 PSNR 值為 37.2845，其視覺不易察覺出影像的變化。擷取出的浮水印 pepper 圖如圖六，其相關係數

為 0.9849，取出的相關係數介於 0 與 1 之間，當愈靠近 1 時就表示愈接近原浮水印圖，也表示擷取出的效果愈好，愈能耐各種攻擊。使用以往直接排序後選擇係數大者嵌入浮水印的

方法，浮水印嵌入後的 Lenna 圖如圖七，*PSNR* 值為 37.0671，其 *PSNR* 比小波樹的方法低，擷取出來的 pepper 圖如圖七，相關係數為 0.9889，其相關係數比小波樹的方法高。



圖六：使用小波樹(wavelet tree)方法的浮水印嵌入與取出實驗。(a)原始影像 Lenna 圖，(b)嵌入浮水印後 Lenna 圖 *PSNR*=37.2845，(c)浮水印 pepper 圖，(d)取出後浮水印 pepper 圖 *correlation*=0.9849



圖七：使用直接排序選擇大係數方法的浮水印嵌入與取出實驗。(a)原始影像 Lenna 圖，(b)嵌入浮水印後 Lenna 圖 *PSNR*=37.0671，(c)浮水印 pepper 圖，(d)取出後浮水印 pepper 圖 *correlation*=0.9889

4.2 壓縮下直接排序與小波樹之實驗比較：

這個小節我們實驗了 *JPEG* 失真壓縮對已嵌入浮水印之影像上做各種壓縮倍數及壓縮品質的實驗攻擊，實驗我們使用的小波樹方法嵌入的浮水印具有強韌性之條件。

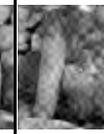
使用 *JPEG* 失真壓縮，分別對已嵌入浮水印之影像做壓縮品質為 90、80、70、60、50、40、30、20，使用小波樹方法所對映的壓縮倍數為 5.0、7.6、9.6、11.6、13.3、15.3、18.3、23.6 的實驗，從表一可看出當壓縮倍數為 5.0 時，取出浮水印影像之相關係數為 0.9827，以

視覺看不出浮水印有壓縮過的影像變化，而壓縮倍數在 7.6-9.6 之間時，取出之浮水印影像相關係數在 0.9779-0.9732 之間，顯示擷取出的浮水印效果相當好；當壓縮倍數為 11.6-18.3 及壓縮品質在 60-30 之間時，相關係數都在 0.9530-0.9196 之間，表示擷取出的浮水印都有其相當水準的相關係數能維持在 0.9 以上，以視覺上看不太出浮水印嵌入經壓縮而擷取出後有太大的影像變化；直到當壓縮倍數為 23.6，且壓縮品質為 20 時，取出之浮水印影像之相關係數降低至 0.8860，雖然已降至 0.9

以下，但仍然可以辨識出浮水印原本的影像內容，此小波樹方法證明了浮水印在各種壓縮倍

數及壓縮品質下仍然可以抵抗攻擊，符合浮水印強韌性之條件要求。

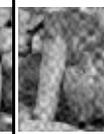
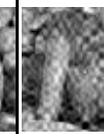
表一、對嵌入小波樹(wavelet tree)浮水印後的影像作 JPEG 的攻擊而擷取出的浮水印

壓縮品質	90	80	70	60	50	40	30	20
壓縮倍數	5.0	7.6	9.6	11.6	13.3	15.3	18.3	23.6
擷取出的浮水印								
Correlation	0.9827	0.9779	0.9732	0.9530	0.9566	0.9422	0.9196	0.8866

從表二中使用以往直接排序後嵌入浮水印方法，所對映的壓縮倍數為 5.1、7.7、9.8、11.7、13.4、15.4、18.5、23.9 的實驗，雖然在上節的未壓縮情況下擷取出的浮水印實驗中小波樹的相關係數 0.9849 比直接排序的相關係數 0.9889 低，但在表二可比較出當壓縮倍數為 5.1-15.4 之間時，取出浮水印影像之相關

係數皆有在 0.9 以上，但是在壓縮倍數為 30 及 20 時，相關係數立即降至 0.8914 及 0.8171，表示此方法不耐攻擊。本節的實驗結果證明了使用小波樹(wavelet tree)的方法擷取出的浮水印仍然可以利用視覺辨視出浮水印的影像資訊內容，且達到浮水印耐攻擊的程度。

表二 對直接排序後嵌入浮水印後的影像作 JPEG 的攻擊而擷取出的浮水印

壓縮品質	90	80	70	60	50	40	30	20
壓縮倍數	5.1	7.7	9.8	11.7	13.4	15.4	18.5	23.9
擷取出的浮水印								
Correlation	0.9866	0.9838	0.9790	0.9614	0.9504	0.9232	0.8914	0.8171

4.3 小波樹的各階層權重比例之比較實驗：

以上小節實驗中的小波樹(wavelet tree)適當找尋嵌入位置方法的未壓縮與壓縮攻擊等實驗，所採取的小波樹方法是不考慮其各階層比例，是直接使用各階層係數相加之後的總和排序後選擇大者來對應到原波段的係數，來嵌入其浮水印，本小節討論以第三層的波段為基礎時此階層的係數權重最大，對應到四個第二層波段的係數總和則權重大，以及對應到十六個第一層波段的係數總和則權重是 1，而以第二層的波段為基礎時此階層的係數權重大，而對應到第一層係數總和權重是 1。

由表三可得知第三階層：第二階層：第一階層及第二階層：第一階層之各種權重比，並對照圖八之原始影像與浮水印，從實驗的結果

顯示以第三層波段為基礎時權重愈大，則嵌入浮水印後 Lenna 圖的 PSNR 值愈高，對原始影像嵌入的破壞較小，且更符合浮水印的不易察覺性，當小波樹各階層無權重時，則 PSNR 愈低，則表示嵌入的浮水印對原始影像的破壞愈大。而擷取出來的浮水印 pepper 圖，相關係數皆在 0.9 以上且很靠近 1，表示愈接近浮水印的原圖，此實驗證明小波樹方法不論嵌入或擷取出的效果都很好。

表三 小波樹(wavelet tree)的各階層權重比例之比較表

各階層權重比例 (第三階層：第二階層：第一階層)及(第二階層：第一階層)	嵌入浮水印後之影像 Lenna 圖	擷取出後浮水印 pepper 圖
16 : 4 : 1 及 4 : 1	 <p>PSNR=39.9826</p>	 <p>correlation=0.9908</p>
16 : 4 : 1 及 1 : 1	 <p>PSNR=39.7249</p>	 <p>correlation=0.9911</p>
4 : 1 : 1 及 4 : 1	 <p>PSNR=39.9350</p>	 <p>correlation=0.9907</p>
4 : 1 : 1 及 1 : 1	 <p>PSNR=39.6828</p>	 <p>correlation=0.9910</p>
1 : 1 : 1 及 1 : 1	 <p>PSNR=37.2845</p>	 <p>correlation=0.9849</p>

五、結論

本論文提出了以小波轉換 (discrete wavelet transform, *DWT*)為基礎的方式來嵌入浮水印，並利用小波樹(wavelet tree)的觀念來找尋適當的嵌入位置，對於以往一般使用直接排序的方式來嵌入浮水印還要有進？的空間。利用每個波段間父係數與子係數間之關係，找出各波段間相對映的關連性，使得不同階層、尺寸的波段能做到空間上的對映，嵌入於波段與波段間變化量大的地方，有別於直接排序的嵌入方法，更加考慮到了各波段間的係數變化量。實驗的結果也顯示做 *JPEG* 壓縮攻擊後所取出之浮水印，利用小波樹(wavelet tree)的方法比一般直接排序的方法還要耐攻擊，因此，本實驗所提出的方法，可以使浮水印更滿足不易察覺及強韌性兩個條件。我們預期利用小波封包的方法來選擇浮水印嵌入點，將有助於嵌入浮水印後的影像有其更佳的強韌性來抵抗攻擊，我們將朝著這方面去研究及改善，以加強浮水印的強韌度。

六、參考文獻

- [1] 莊永達、孫偉哲、林益靖、錢漢傑、梁家銘，“應用於數位影像的資訊隱藏”，真理大學資訊管理學系，畢業專題論文，pp. 18, 十二月, 2001.
- [2] 游光堯，“使用小波轉換的數位浮水印對數位影像資訊所有權確認之研究”，國立交通大學資訊管理研究所，碩士論文，pp.1-2, 六月, 1999.
- [3] 蔡銘箴、游光堯，“可辨識的數位浮水印對所有權確認之研究”，第十屆國際資訊管理學術研討會，vol. 2, no. 108, pp. 855-862, 1999.
- [4] 賴俊傑，“影像浮水印技術之研究”，世新大學管理學院資訊管理學系，碩士學位論文，pp.3-31, 六月, 2002.
- [5] 鍾岳峰，“基於小波轉換之強健且低破壞性的數位浮水印嵌入法”，國立台灣科技大學電子工程系，碩士學位論文，pp.37-42, 六月, 2002.
- [6] 繆紹綱，“數位影像處理 - 活用 Matlab”，台北：全華，pp.5-18~5-19, 1999.
- [7] C.-T. Hsu and Ja-Ling Wu, “DCT-Based Watermarking for Video,” *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 44, no. 1, pp. 206-216, Feb 1998.
- [8] C.-T. Hsu and Ja-Ling Wu, “Hidden Digital Watermarks in Images,” *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 8, no. 1, pp. 58-68, Jan 1999.
- [9] C.-T. Hsu and Ja-Ling Wu, “Multiresolution Watermarking for Digital Images,” *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 45, no. 8, pp. 1097-1100, August 1998.
- [10] D. Taskovski, S. Bogdanova and M. Bogdanov, “A low resolution content based watermarking of images in Wavelet domain,” *Proceedings of the 2nd International symposium on Image and Signal Processing and Analysis*, 2001, pp. 604-608.
- [11] G. Strang and T. Nguyen, *Wavelets and Filter Banks*, Walleley-Cambridge Press, 1996.
- [12] I. J. Cox, J. Kilian, F. T. Leighton, and T. Shamoon, “secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia,” *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 6, no. 12, pp. 1673-1687, 1997