

漸進式網格上之強健多解析浮水印作法

陳永鴻¹ 陳宏光² 李勇鈺 陳建閔

¹ 亞洲大學資訊設計研究所

² 勤益科技大學電子工程系, hank@ncut.edu.tw

摘要

此篇論文中，我們將提出一個在三維漸進式多邊形網格上嵌入多重解析浮水印的作法。利用改進的嵌入法，配合漸進式網格的點分裂/還原結構，可將小波轉換後的漸進式浮水印資訊依漸進式網格的簡化/還原次序依序嵌入模型中。如此，浮水印在之後取出時，會隨著模型解析度不同，而得到不同解析度的浮水印圖形。此外我們的提出的作法，稍經修改後，除了可將多重解析的影像資訊嵌入外，亦可嵌入三維模型。我們的做法經實驗證實具有極佳的強健性，可抗多種攻擊，並能以少數的資訊即時萃取出明顯的浮水印。

關鍵詞：漸進式網格，版權保護，資訊隱藏，數位浮水印，離散小波轉換

1. 導論

近年來，由於網際網路的頻寬發展迅速，數位資訊之共享頻仍，數位內容常藉由網際網路發布及傳播。若無妥善之保護機制，這些數位內容很容易就遭到有心人士冒用或是竊取，從而大量複製或修改。因此，如何於想要保護的數位內容中，以不會破壞多媒體原來的內容為前題，藉由隱藏寫入(steganography)證明作者的相關資訊來確保著作權。以期於著作權遭到侵犯時，藉由這些隱藏資訊之解譯，提供作相關訴訟有力的證據。此類相關技術，統稱為「數位浮水印(digital watermarking)」，並已被廣泛的應用在傳統的圖形、影片、音訊和文章之著作權保護[1-4]。

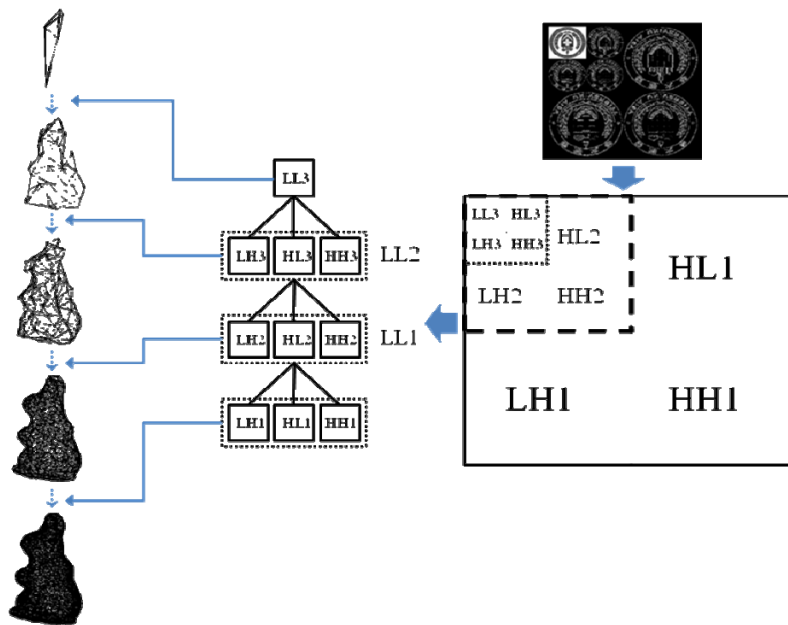
本篇論文將提出一個三維模型的浮水印嵌入技術。相較於傳統的三維浮水印技術，本文中所提之做法利用漸進式網格(progressive mesh) [5-7]與離散小波轉換(discrete wavelet transform) [8-10]，將將影像和模型轉換為漸進式的表示形式，參考 Wagner 等人將浮水印資訊嵌入模型的 ring 結構中的作法[11]，將浮水印依編碼順序由低頻至高頻依序嵌入三維模型最重要到較不重要的資訊中。因此，預期

受保護的模型可於受到攻擊之後，仍能利用殘存的資訊，解譯出較低解析的浮水印。

2. 文獻回顧

目前已知三維模型的浮水印嵌入做法[12-17]與將浮水印嵌入二維影像的方法類似：亦可區分為空間域(spatial domain)和頻率域(frequency domain)兩種。

空間域的嵌入技術多是將浮水印資料嵌入模型的空間資料，諸如點座標、法向量，或其拓撲結構中。如 O.Benedens [13]使用改變表面法向量的做法來嵌入浮水印、R.Ohuchi 等 [14][16][17]利用模型的幾何結構，結合 TSQ(Triangle Similarity Quadrature) 及 TVR(Tetrahedral Volume Ratio embedding)的方法在頂點座標上嵌入浮水印。其餘還有使用 TSPS(Triangle Strip Peeling Symbol Sequence)、PSP(Polygon Stencil Pattern)在拓撲資料上嵌入浮水印等做法。本論文則參考 M. G. Wagner 等人的做法[11]經由改變 ring 的中心點座標，將資訊隱藏入改變的座標中，如此改變幾何形狀做資訊嵌入的方法，亦屬空間域的三維模型浮水印嵌入技術。



圖一：三維物件之二維多重解析浮水印製作概念圖。

頻率域的嵌入方法，則是將浮水印嵌入模型計算出來的頻率資訊中。E.Praun 等人[12] 針對多解析模型找尋適合浮水印嵌入的低頻核心，並宣稱其做法可抵抗模型簡化的攻擊。R.Ohuchi 等人[15] 藉由頂點連結性(vertex connectivity)，建立一個 kirchhoff 矩陣並將它做特徵值分解，得到特徵向量(eigenvector)即為轉換域所使用的基底，並將浮水印資訊隱藏入模型的低頻中。本論文主要使用的嵌入方法，是類似 Kanai, et al[18]的概念，他是將三維模型做多層解析小波轉換後，再將浮水印嵌入模型的低頻中，與本論文不同的地方在於，本篇是利用漸進式網格的方法，來達到模型不同頻率的轉換，將模型做不同權重的資料處理，然後再使用 M. G. Wagner 的資訊嵌入方法，將浮水印隱藏在模型的點座標中。

在本論文中，我們將提出一個應用於漸進式網格[5-7]上的浮水印方法。這個新的方法，不只可以對抗座標轉換、裁切、簡化攻擊，即使偽裝的三維模型遭到破壞，亦可以解譯出在視覺上權重相當高的浮水印。此外，這個改

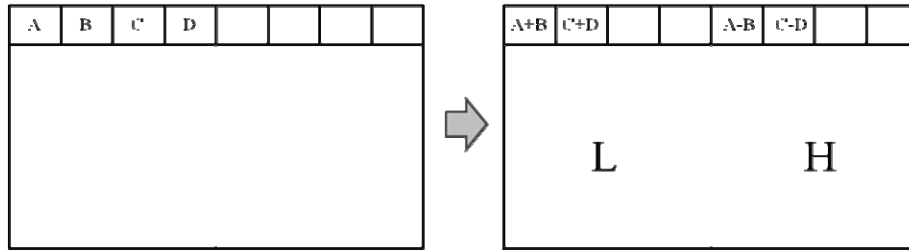
良的嵌入方法，除了可以將一般二維的影像當作浮水印嵌入外，還可以隱藏更為複雜的數據資料，如另一個三維的模型資料，在偽裝模型中。

3. 多解析浮水印嵌入之作法

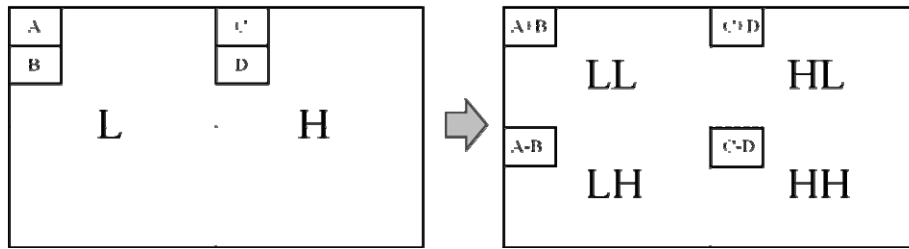
如圖一所示，在考慮將二維浮水印嵌入三維物件的多邊形網格(polygon mesh)時，我們首先將在作為浮水印的二維圖形使用離散小波轉換來作多解析處理。為了能將重要資訊嵌入重要的區域，我們同時將三維物件的多邊形網格轉換為漸進式網格(progressive mesh)的格式，並將轉換後的浮水印由低頻製高頻依序嵌入漸進式網格的基礎網格(base mesh)與點分裂(vertex split)資料中。

3.1. 浮水印的多解析度處理

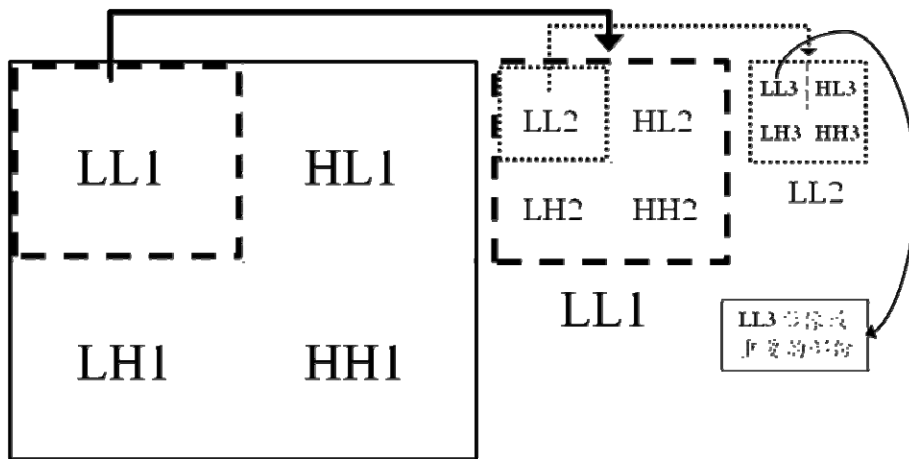
目前離散小波轉換的方法有很多種[8-10]，Haar 函數離散小波轉換[19]是目前最常用的離散小波轉換方法，所以在二維點陣圖的多解析處理中，本論文選擇使用 Haar 函數離散小波轉換的作法，以下簡介 Haar 函數的作法。



圖二：第一次水平分割示意圖。



圖三：第一次垂直分割示意圖。



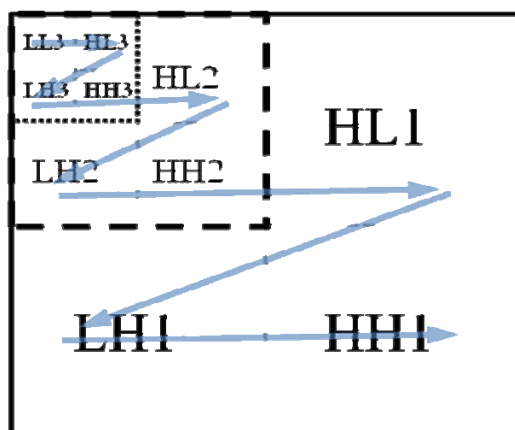
圖四：三階 Haar 函數離散小波轉換結果示意圖。

(一) 第一次水平分割，以水平方向由左至右的順序，取出空間域影像的相鄰兩像素，做相加、相減運算，然後分別儲存在圖形的左右二邊。如圖二，A、B、C、D 分別代表影像中相鄰的四像素，將像素 A 與 B，C 與 D 分別做運算，然後將相加及相減的結果，儲存於圖形的左右不同二邊，相加的集合部分就是這張影像低頻的部分，以符號 L 表示；相減的集合部分就是這張影像高頻的部分，以符號 H 表示。

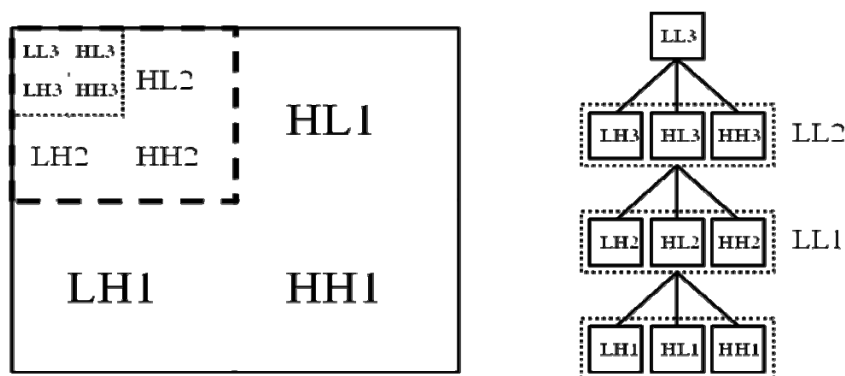
(二) 第一次垂直分割，將第一次水平分割所產

生的結果，依照垂直方向由上至下取出係數做相加、相減運算，如圖三，A、B、C、D 分別代表四個係數，取 A 係數及 A 下方的 B 係數，做相加、相減運算；因為相加的集合是由低頻中又計算出來的低頻，所以，以 LL 來表示；而相減的集合是低頻中的高頻，所以，以 LH 來表示，C 與 D 也是仿照 A 與 B 的做法，又分別為高頻中的低頻和高頻中的高頻，各自以 HL 和 HH 來表示。

(三) 完成以上第一次水平分割及第一次垂直



圖五：Scan order 傳送頻帶順序之示意圖。



圖六：二階離散小波轉換及其相對應的 Quad-tree。

分割後，這樣算是第一階段的離散小波轉換，會得到四個區塊 LL、LH、HL、HH，這四個區塊分別代表不同頻率，越低頻的部分代表影像中最重要的部分。之後還可以對 LL 頻率部份，再做一階離散小波轉換動作，持續往下作第三階第四階、...、一直到第 n 階離散小波轉換，LL 像素無法做加減為止。做完離散小波轉換後，最低頻的部分就是整張影像中最重要的部分，因為最低頻的部分是每一次小波轉換後的低頻再做轉換所得到的低頻結果，也就是影像中重要部分轉換後再得到的最重要部分，可以發現經離散小波轉換後的最重要的部分，是原始影像的大致輪廓。圖四是將影像作三階 Haar 函數離散小波轉換結果。

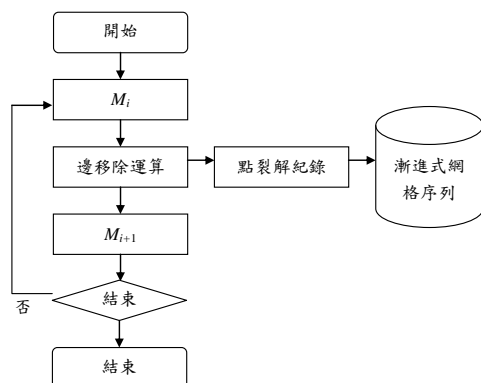
(四)離散小波轉換係數的讀取順序，使用 Z 形式 scan order[20]這種方式來讀取離散小波

轉換後的影像，scan order 傳送方法是由低頻先傳送，在傳送中頻，最後才是高頻，如圖五；因為低頻是影像中最重要的地方，中頻及高頻都是用來加強低頻的，所以這種讀取方式會讓影像由模糊慢慢變清楚；如此一來，即使讀取影像讀到一半中斷或是資料遺失，依然可以依模糊的影像來判斷影像的內容。

(五) 如圖六，離散小波轉換後的係數，低頻、中頻及高頻之間的關係可以用一棵四元樹(Quad-tree)[21]來表示，每個 Quad-tree 的根都是由低頻係數所組成的，是影像中最重要的資訊，Quad-tree 中的其他節點都是用來加強其上層節點的。所以當利用 Quad-tree 這種結構，由根(root node)到樹葉(leaf node)的方式來傳輸影像時，影像會有從模糊漸漸到清晰的效果。

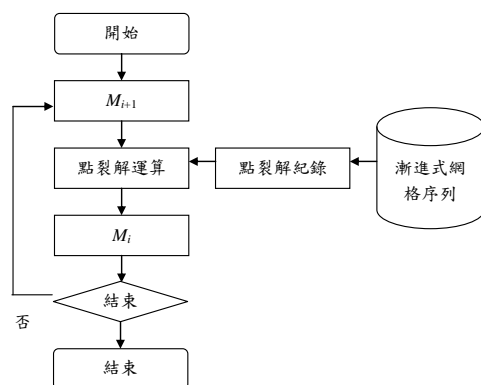
3.2. 三維模型的簡化與多重解析度處理

本論文中，我們要保護的目標物件為三維物件的多邊形網格。為了能達成呈現多重解析浮水印的效果，我們採用了 Hugues Hoppe 所提出之漸進式網格[5]。令輸入的網格為 M_0 ，經 n 次邊移除運算產生之最終產生的基礎網格為 M_n ，製作及還原方式請分別參考圖七、圖八。



圖七：漸進式網格製作流程。

在經過轉換為漸進式網格的處理後，就可以根據點裂解紀錄的前後次序，依序的將模型做還原的動作。



圖八：漸進式網格還原流程。

3.3. 浮水印資料嵌入三維模型之作法

在考慮浮水印嵌入的問題時，首要的考量是：嵌入的浮水印，有否可能經得起基本的幾何轉換，如位移、旋轉、與放大縮小等攻擊。如何能於遭遇此類攻擊後，就算不能將浮水印

完整的資訊解譯出，仍能取出足夠的資訊，表現原本嵌入圖形的特徵，以證明此模型的著作權。此外，亦當考量模型於嵌入浮水印之後，外觀是否會有明顯的失真。

將浮水印嵌入三維模型的作法，我們採用類似 Michael G. Wagner 等人的作法 [11]。在 Michael G Wagner 的方法中，將浮水印打散分布在三維模型中，使得資料量不具有連續性，而其平均值嵌入方法，使三維模型能有更高的抵抗攻擊能力。

Michael G Wagner 的方法中，假設 $m+1$ 是模型 M 上的點總數量 ($0 \leq i \leq m$)，要嵌入浮水印數量為 $k+1$ ($0 \leq j \leq k$)，浮水印資料為 $W = \{W_0, W_1, \dots, W_j, \dots, W_k\}$ 。給定模型上某一個點 i 及其 vertex ring, S_i ，我們可以計算一個由中心點到所有相鄰點，的平均向量 n_i 如下：

$$n_i = \frac{1}{|S_i|} \sum_{j \in S_i} (P_j - P_i) \quad (1)$$

其中 P_i 是 ring 的中心點， P_j 代表 P_i 的所有相鄰點， S_i 代表已 i 為中心點的 ring， $|S_i|$ 代表 ring 中 P_j 的數量。

藉由算出模型上每個點的 n ，利用所有的 n 可以算出一個全域的 d 值。

$$d = \frac{1}{m+1} \sum_{i=0}^m \|n_i\| \quad (2)$$

要將 W 集合完全嵌入 M 的步驟如下，首先設定 $j=0$ ，並且自訂一個 c 值，做為浮水印嵌入時錯誤控制調整，並且為浮水印取回時，金鑰計算的依據。

步驟 1. 找尋一個可以嵌入的 ring S_i ，利用 d ，和 n_i 的長度量 $\|n_i\|$ ，可以計算出一個比值 L_i ：

$$L_i = \frac{\|n_i\|}{d} \quad (3)$$

步驟 2. 因為 L_i 會是較小的數值，所以利用一個使用者傳入的 c 值，將 L_i 放大，目的是要將浮水印嵌入 L_i 的低位元，所以將(3)修改成：

$$L_i = \text{round}\left(\frac{\|n_i\|}{d}c\right) \quad (4)$$

步驟 3. 要將浮水印 w_j 嵌入 L_i 的方法為，在 L_i 裡面選取足夠儲存 w_j 的位元數 b (bits)，較好的方法是，從 L_i 較低的位元中，選擇較少數量的 b ，這樣會影響嵌入後的模型，幾何錯誤較小。之後，將由 L_i 選取的位元資料替換成 w_j ，以得到嵌入浮水印的 L'_i 。

步驟 4. 最後由 L'_i ，反推得到 S_i 新的 ring 中心點座標 P'_i ，就完成了對 S_i 的資料嵌入。

$$n'_i = L'_i \frac{d}{c} \frac{n_i}{\|n_i\|} \quad (5)$$

$$n'_i = \frac{1}{|S_i|} \sum_{j \in S_i} (P_j - P'_i) \quad (6)$$

$$P'_i = \left(\sum_{j \in S_i} P_j - |S_i| \times n'_i \right) \times \frac{1}{|S_i|} \quad (7)$$

步驟 5. 將 j 遞增 1， $j = j + 1$ ；若 $j \leq k$ 判斷為 true，則回到步驟 1，並將要嵌入資料 w_j 嵌入該 ring 中，反之，繼續步驟 6。

步驟 6. 此時 W 集合已經完全嵌入模型 M 。在每個 S_i 嵌入資料後，會改變它的中心點座標，所以，若要將浮水印取回，由(1)可計算出嵌入後的 n'_i ，只需要將 n'_i 帶入(2)，求得嵌入後的全域 d' 值，另外，還需要一個嵌入後的 c' ，來記錄嵌入前後 d 和 d' 的比值變化：

$$c' = c \frac{d'}{d} \quad (8)$$

如此，將嵌入後的資訊 d' 、 c' 和 n'_i ，帶入(4)求得正確的 L'_i ，再依照當初嵌入的位元數量，取出 L'_i 的低位元，就可得到當初嵌入的浮水印資料。

3.4. 圖形和模型的認證方式

取出藏入的浮水印後，進一步就是要認證這個浮水印是否正確。本論文使用正規化關連值 (normalized correlation, NC)[19][22] 的方法，來偵測萃取出的浮水印和原來浮水印資料，相似程度的衡量工具，作為浮水印的有效認證。統計的好處在於，有一定的容錯性與客觀性。公式如下：

$$NC = \frac{\sum_i \sum_j W(i, j) W'(i, j)}{\sum_i \sum_j [W(i, j)]^2} \quad (9)$$

當萃取出的浮水印和原始的浮水印完全契合時，NC 值等於 1；當萃取出的浮水印黑點和原始的浮水印黑點不一致時，NC 值會降低。NC 值的大小僅作為萃取浮水印品質好壞的參考，並不表示每個人以肉眼觀察都有相同的認同。

3.5. 影像訊號雜訊比

對於兩張影像其差異程度大小，只以肉眼觀看是沒有說服力的，所以客觀的計算影像雜訊比 (peak to noise ratios, PSNR)，是用來評估影像品質不錯的方法。一般而言，影像雜訊比被定義為：

$$PSNR = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{255^2}{MSE} \right) \text{dB} \quad (10)$$



(a) 受保護的三維模型



(b) 浮水印



(c) 浮水印經離散小波處理後

圖九：實驗用的模型及浮水印。

表格一： 嵌入位元數 b 對模型與嵌入圖形破壞程度數據表。

嵌入位元數 b	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
模型(PSNR)	99.56	93.56	87.53	81.49	75.64	69.70	63.70	57.66	51.50	45.00	41.77
浮水印(PSNR)	6.97	7.21	8.77	10.53	15.91	38.98	53.14	52.97	53.00	53.08	52.83

$$MSE = \left(\frac{1}{m^2} \right) \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^m (\alpha_{ij} - \beta_{ij})^2 \quad (11)$$

其中，MSE 為兩張 $m \times m$ 灰階數位影像的 mean square error, 或作業 MSE, α_{ij} 表示原始數位影像上的 (i, j) 位置上的像素值, β_{ij} 表示經過處理之後的影像上位置 (i, j) 像素值。兩張數位影像經訊號雜訊比計算後的結果值越大, 那表示這兩張數位影像越相似。

3.6. 模型比較工具

在模型嵌入浮水印前後, 可以用各種比較方法, 來檢測原始模型和偽裝模型之間的相異程度。本論文使用 3.6.1 節計算 NC 值的方法、計算 PSNR 的方法及使用 Metro 工具來做檢測。要計算模型 PSNR 值, 和二維圖傳入計算的資料有些許不同, 本篇將計算 PSNR 公式, 稍微修改為計算三維模型之 PSNR 如下。

$$PSNR = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{B^2}{MSE} \right) \text{dB} \quad (12)$$

其中, B 為模型 bounding box 的對角線長度, 在公式 (11) 中, $(\alpha_{ij} - \beta_{ij})$ 為原始模

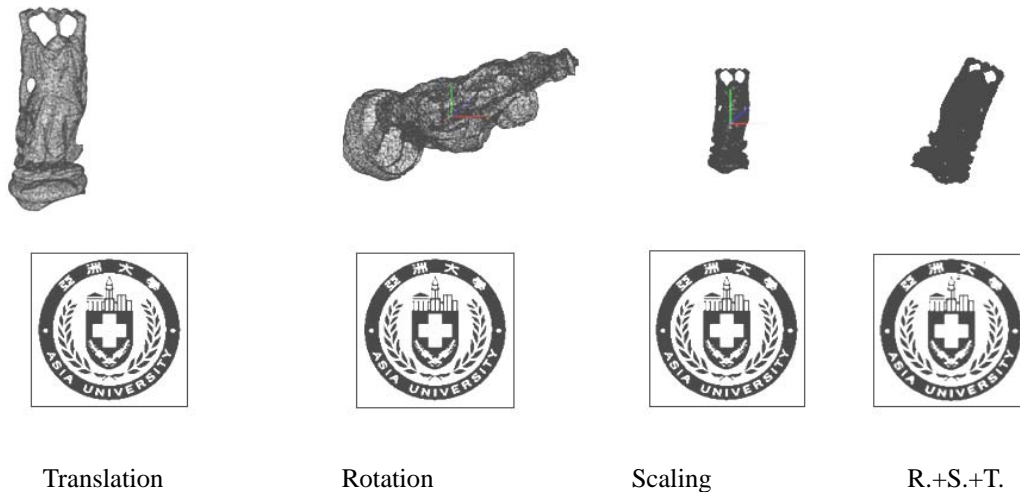
型和嵌入浮水印模型之間, 相對印點的誤差距離。

此外, 我們也採用了 Visual and Computer Graphics Library 提供的 Metro[23], 來測量二模型之間的相似程度, 做為評量的準則。在 Metro 比較二模型之間的相異程度後, 會產生一個 hausdroff 值, 數值越小表示二模型越相似。

4. 實驗結果

浮水印在嵌入模型的步驟中多少都會對原來模型造成破壞, 我們的實驗中, 首先會探討浮水印在各種嵌入條件下, 對原始模型的破壞程度。其次是浮水印在不同嵌入條件下, 取出的精確度。本次實驗嵌入的浮水印為二維影像, 我們將探討在不同的設定值下, 嵌入浮水印後, 模型的變形程度, 以及浮水印的強韌性和對原始模型的破壞程度之間的關係。此外, 還有浮水印在縮放、旋轉和位移與雜訊(noise)攻擊下, 浮水印之強韌性。

本實驗用來測試的浮水印圖形, 是將一張 128×128 的圖形, 做離散小波處理後的資訊



圖十：嵌入模型在 RST 攻擊下與取出的浮水印。

表格二：模型不同頻率位置做嵌入後，模型的破壞程度表。

嵌入序列	點裂解序列													
	0	1032	2031	3031	4031	5031	6031	7031	8030	9030	10030	11030	12030	13030
模型失真 (PSNR)	71.35	74.12	75.25	76.09	76.91	77.69	78.37	78.85	79.38	79.91	80.40	80.87	81.36	81.81

為主，如圖九(b)(c)，資料量為 16384 筆資訊。用來嵌入浮水印的模型是面數量為 64448，點數量為 32018 的模型，如圖九(a)。將此模型轉換為漸進式網格後，得到一個基礎網格與 30,737 個點裂解紀錄。我們將此 16384 筆浮水印資訊，嵌入在 30737 個點裂解紀錄中。

4.1. 嵌入浮水印的精細與模型失真的影響

模型在嵌入浮水印之後，都會最造成一定程度的失真。由表格一可看出，偽裝模型的 PSNR 值隨著浮水印的嵌入位元數變大，失真程度亦隨之增加。另一方面，浮水印的嵌入位元數愈大，取出浮水印的品質則是越來越好。亦即， b 越大，模型嵌入後失真就越大。 b 越小，模型嵌入後失真越小。

4.2. 浮水印嵌入位置對於模型失真的影響

本實驗設定 b 為 12 bits，並分別在模型點裂解序列的 30,737 個位置做嵌入浮水印。浮水印資料為 128x128 的離散小波圖形，資料量為 16,384 筆。點裂解序列由接近基礎網格的位置開始到最後依筆。代表模型由低頻到高頻的位置。本實驗在模型不同頻率位置做嵌入動作，之後計算模型在嵌入後的 PSNR 值，來檢測模型在不同頻率位置下做嵌入後的破壞程度。結果呈現於表格二。

由表格二中可看出，浮水印在越低頻做嵌入動作，對於偽裝模型較重要的部分造成較大的破壞，在偽裝模型的越高頻做嵌入，則對偽裝模型破壞較小。但是，嵌入在低頻雖然對偽裝模型破壞較嚴重，理論上浮水印的強韌性會較高，浮水印嵌入在低頻雖然對偽裝模型破

壞較小，但強韌性應該會較差，使用必須決定如何在這之間做取捨。

浮水印嵌入在模型的高中低頻，對模型造成的傷害也有不同，將浮水印嵌入在漸進式網格不同頻率位置，可以得到模型不同的破壞數據，如表格二所示，浮水印資料嵌入在模型的低頻，會得到較低的 PSNR 值，代表模型受到較大破壞，隨著嵌入在模型較高的頻率中，PSNR 值也跟著升高，模型破壞越小。浮水印嵌入到模型的低頻，會造成模型破壞較嚴重，但是浮水印強韌度較高，嵌入在模型的高頻，對模型變形程度改變較小，但是浮水印資料易受破壞。要將浮水印嵌入在模型哪個頻率位置會比較好呢？客觀的看起來，嵌入在中頻通常會是比较好的選擇，因為中頻對模型破壞不會很大，對浮水印的強韌度也不算很低，會是比较適合的嵌入位置。

4.3. 浮水印的強韌性

由圖十結果可見，延續了 Wagner[11]的優點，本論文的浮水印方法，可以抵抗各種仿射轉換(affine transformations)的攻擊。模型在 rotation, scaling, translation 三種轉換攻擊之下，浮水印皆能有效的保存。此外，有較明顯特徵的三維模型，在做漸進式網格轉換後，模型低頻資訊會保有較多形狀的特徵。因此，更能保護離散小波圖的模型。

5. 結論

本論文經由小波所設計出的多重解析二維頻率圖，將其二維序列放入三維序列中，並且設計其專門的 encoder 和 decoder，讓解譯碼有規則且能快速得到隱藏的浮水印。嵌入的方法根據漸進式網格由基礎網格分裂還原的順序，一個一個有規則的將浮水印資訊嵌入，所以，在模型不同解析度的同時，可以得到不同解析度的浮水印圖形，由此方法，將浮水印資訊打散在模型的分佈上，可以加強浮水印的強

度，同時，小波頻率圖也能將盡可能得到的資訊，將圖形的輪廓盡量表現出來，增加浮水印辨識程度。

將 Wagner 做法，合併漸進式網格做法，並利用新的 D 計算，做改進的方法，優點是：

1. 越接近基礎網格所嵌入的浮水印資料，強韌性越大，在漸進式網格的還原中，由基礎網格還原回去時，代表著模型中越不容易被修改的部分，所以可以將較重要的資料，隱藏在模型的低頻中，增加強韌性。
2. 模型做嵌入後，不需要計算取回金鑰 c ，當然，在取回浮水印時也不需要取回金鑰。減少了金鑰的計算，且增加浮水印的忘卻性 (oblivious)。
3. 取回浮水印時，公式(2)，計算 d 的誤差變小，取回的浮水印更精確。
4. 應用在漸進式網格上的方法，每一個分裂還原都可以嵌入資料，可以利用漸進式網格的點分裂紀錄數量，得知並控制浮水印可嵌入的數量。
5. 根據漸進式網格還原的順序，提供浮水印嵌入模型的先後順序。
6. 漸進式網格的簡化還原特性，可以將浮水印有效的分佈在模型上，較能抵抗模型切割的攻擊。
7. 浮水印資料量化後，利用 Wagner 做法可以嵌入較複雜的數據資料，所以不只侷限於做黑白圖嵌入，離散小波處理後的浮點數，也可以利用量化的方法，將較複雜的圖形做嵌入(如圖十一)。另外，利用量化方法，還可以將模型的點座標量化後做嵌入(將模型當作嵌入的資料)

缺點是取回浮水印時，需要額外漸進式網格點分裂的序列，才能得知如何從嵌入的模型中，取回浮水印的順序，並且模型拓撲結構必須和原始模型一致，若是模型拓撲結構被更改，必須做重新取樣的動作，才能順利做漸進式網格還原，並取回浮水印資料。

對於上述缺點的改進，若是模型對於漸進式網格簡化的步驟，尋找簡化順序的方法，能夠有一致性，就可以在取回浮水印時，直接做漸進式網格簡化，不需要紀錄之前還原的順序。但是，對於模型拓撲結構被攻擊的情況來說，還是必須要將模型還原到原始的拓撲狀態，才能有效的作漸進式網格簡化。上述缺點，還是本論文有待改進的地方，還有待之後對相關問題加以研究，得到新的改進方法。

本論文提出的離散小波圖嵌入漸進式網格，對浮水印強韌度沒有很大提升，嵌入的灰階圖資料簡單，還是較有強韌性的方法。將離散小波低頻嵌入漸進式網格低頻，這種做法理論上是正確的概念，缺點在於資料還不夠簡單化，所以在低頻受到小小誤差，反而會對以後還原造成影響，這是有待改進的空間。

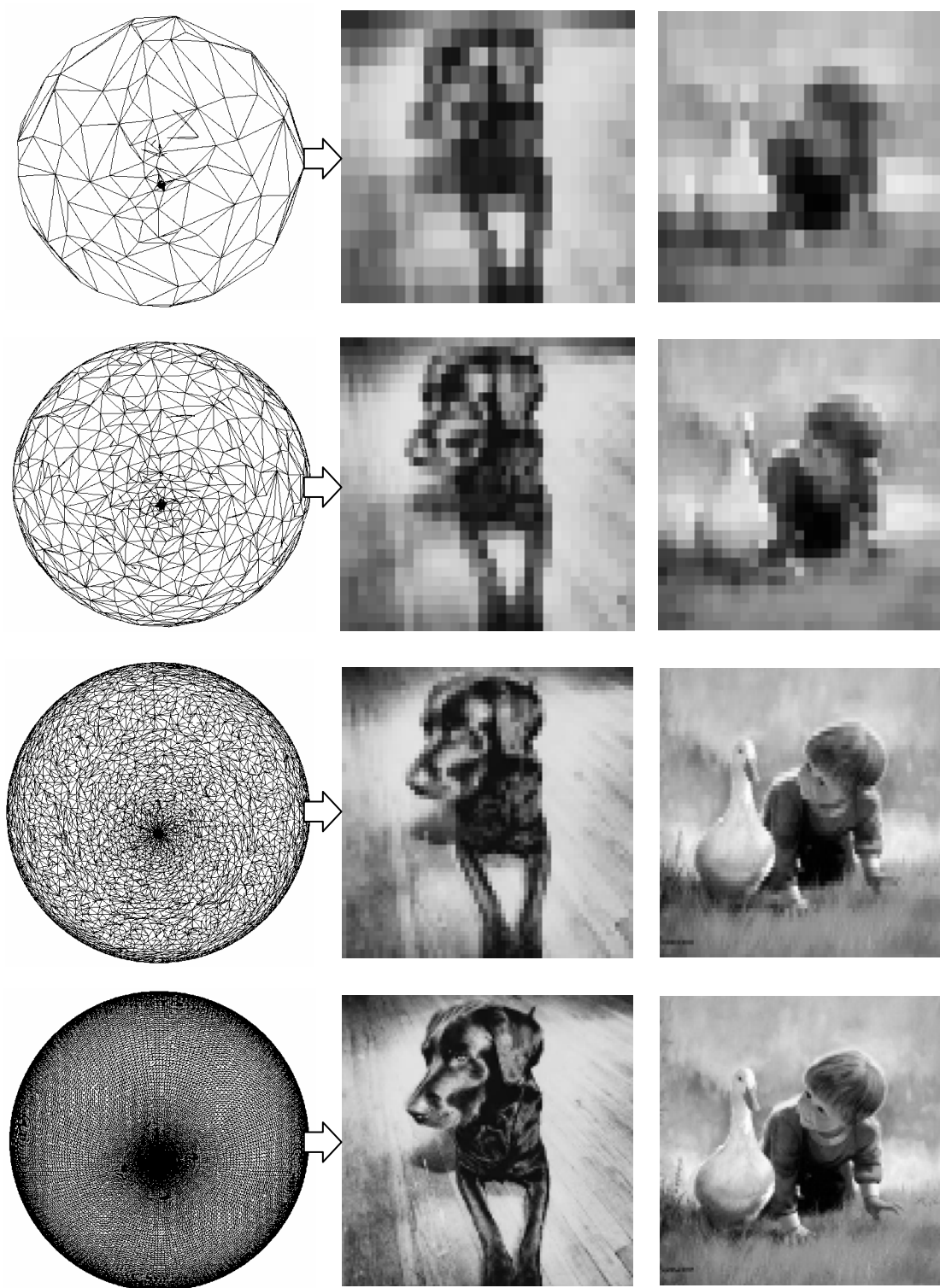
嵌入離散小波圖形可以在模型漸進還原時，讓浮水印圖形根據漸進式網格的傳輸順序，跟著漸漸變清晰，當我們將此特性應用在網路傳輸上，接收方可以根據現有接收到的漸進式網格資訊，解譯出最好的離散小波圖形，是我們將離散小波資訊當做浮水印嵌入的原因之一。此外，我們使用漸進式網格的做法，對模型拓撲結構的依賴性較大，所以相對的重新取樣的動作就很重要，若是模型拓撲結構有改變，漸進式網格會無法正確的演算，就無法取出浮水印圖形，對重新取樣依賴性太強，也是有待改進的地方。

6. 參考文獻

- [1] I.J.Cox,J.Kilian,T.Leighton and

- T.Shamoon,"Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia", IEEE Transactions on Image Processing, Vol.6,No.12,1997,pp.1673-1687.
- [2] I.J.Cox and M.L.Miller,"A review of watermarking and the importance of perceptual modeling",Proc.SPIE Conference on Human Vision and Electronic Imaging II,Vol.3016,February 1997,pp.92-99.
- [3] S. H. Low, N. F. Maxemchuk, "Performance Comparison of Two text Marking Methods," IEEE JSAC, vol. 16, no. 4, May 1998, pp. 561-572.
- [4] W.Bender, D.Gruhl, N.Morimoto and A.Lu, "Techniques for data hiding",IBM Systems Journal, Vol.35, Nos.3&4,1996, pp.313-336.
- [5] H.Hoppe, "Progressive meshes", ACM SIGGRAPH 1996 Conference Proceedings, 1996, pp. 99-108.
- [6] H.Hoppe, "Efficient implementation of Progressive meshes",Computers and Graphics, Vol. 22, No. 1, 1998, pp. 27-36.
- [7] H.Hoppe., "View-Dependent Refinement of Progressive meshes", Computer Graphics (SIGGRAPH'97 Proceedings), 1997, pp.189-198.
- [8] H. J. Wang and C. C. J. Huo, "A multi-threshold wavelet coder (MTWC) for high fidelity image compression", IEEE Proceedings International Conference on Image Processing, Vol. 1, 1997, pp. 652-655.
- [9] J. M. Zhong, C. H. Leung and Y. Y. Tang, "Wavelet image coding based on significance extraction using morphological operation," IEEE Proceedings Image and Signal Processing, Vol. 146, No. 4, Aug. 1999, pp. 206-210.
- [10] M. Craizer, E. A. B. D. Silva and E. G. Ramos, "Convergent algorithms for successive approximation vector quantization with application to wavelet image compression," IEEE Proceedings-Vision Image and Signal Processing, Vol. 146, No. 3, Jun. 1999, pp. 159-164.
- [11] M. G. Wagner, "Robust Watermarking of Polygonal Meshes", Proc. Geometric Modeling & Processing 2000, Hong Kong, April 10-12, 2000 ,pp. 201-208.
- [12] E. Praun, H. Hoppe, and A. Finkelstein, "Robust mesh watermarking",Microsoft Technical Report TR-99-05.
- [13] O.Benedens,"Geometry-base Watermarking of 3D Models",IEEE Computer Graphics and Applications,Vol.19(1), pp.46-55.
- [14] R.Ohuchi, H.Masuda and M.Aono,"Embedding Data in 3D Models ", in:Steinmetz et al.(eds.),Lecture Notes in

- Computer Science No.1309(Proceedings of the IDMS'97,Darmstadt,Germany,September 1997) , Springer , Berlin, Germany, 1997 , pp.1-11.
- [15] R.Ohbuchi, A. Mukaiyama, and S. Takahashi, "A frequency-domain approach to watermarking 3D shapes" Computer Graphics Forum, Vol.21, No.3, 2002, pp.373-382.
- [16] R.Ohbuchi, H.Masuda and M.Aono,"Watermarking Three-Dimensional Polygonal Models Through Geometric and Topological Modifications",IEEE Journal on Selected Areas in Communications,Vol.16,No.4,1998,pp.551-560 .
- [17] R.Ohbuchi, H.Masuda and M.Aono,"Data Embedding Algorithms for Geometrical and Non-Geometrical Targets in Three-Dimensional Polygonal Models",Computer Communications,1998.
- [18] S. Kanai, H. Date, and T. Kishinami, Digital Watermarking for 3D Polygons using Multiresolution Wavelet Decomposition, Proc. Sixth IFIP WG 5.2 GEO-6, Tokyo, Japan, December 1998 , pp. 296-307. (<http://minf.coin.eng.hokudai.ac.jp/members/kanai/wm1-geo6.pdf>)
- [19] 陳同孝、張真誠、黃國峰，數位影像處理技術，旗標出版股份有限公司，2004。
- [20] J. M. Shapiro, "Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients," IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 41, No. 12, Dec. 1993, pp.3445 – 3462.
- [21] A. Munteanu, J. Cornelis, G. V. D. Auwera and P. Cristea, "Wavelet image compression – the quadtree coding approach," IEEE Transactions on Technology in Biomedicine, Vol. 3, No. 3, Sept. 1999, pp. 176-185.
- [22] C. T. Hsu and J.L.Wu,"Hidden digital watermarks in images,"IEEE Transactions on Image Proceeding,Vol.8,Jan.1999,pp.58-68.
- [23] Visual and Computer Graphics Library, <http://vcg.sf.net>



三維模型

複雜浮水印一

複雜浮水印二

圖十一：其他可嵌入的複雜圖形(圖片取自：<http://www.wallcoo.com>)。