

MPEG-4 二維網目的數位浮水印技術

Digital Watermarking for MPEG-4 2D Meshes

廖俊彥 楊士萱 謝金雲

國立台北科技大學資訊工程研究所

台北市 106 忠孝東路三段一號

Chun-Yen Liao, Shih-Hsuan Yang, and Chin-Yun Hsieh

Department of Computer Science and Information Engineering

National Taipei University of Technology

1, Section 3, Chung-Hsiao East Road, Taipei, 106

TEL: (02) 27712171 ext. 4211

FAX: (02) 27317120

Emails: s9598009@ntut.edu.tw, shyang@ntut.edu.tw, hsieh@en.ntut.edu.tw

摘要

在本論文中，我們提出 MPEG-4 二維網目的數位浮水印技術。所謂數位浮水印，是將可供識別的數碼嵌入原始資料中。當版權發生爭議時，可以取出嵌入的浮水印確認版權的歸屬。數位浮水印是目前眾多智慧財產權保護技術中相當被看好的一種方式。MPEG-4 提供了許多 MPEG-1 與 MPEG-2 所欠缺的功能。譬如，MPEG-4 的基本動畫工具組可以用來以低碼率產製高品質的動畫。雖然浮水印技術已被成功地應用在自然影像，但針對合成影像浮水印技術的研究仍在起步階段。在本計畫中，我們將影像浮水印整合在 MPEG-4 基本動畫工具組中的二維網目上。我們利用小波技術進行時間領域的多解析度分析，以擷取浮水印嵌入的特徵點。我們的方法可以抵抗仿射轉換與隨機雜訊攻擊。

關鍵詞：數位浮水印、二維網目、MPEG-4、智慧財產權保護、小波轉換

ABSTRACT

In this paper, we propose a watermarking technique for MPEG-4 2D meshes. Digital watermarking, a technique of inserting identifiable code in the host data, is one of the most promising skills for intellectual property protection. The watermarked copyright information can be extracted to help resolve the ownership dispute. The emerging multimedia coding standard MPEG-4 provides many new desirable features not included in the former MPEG-1 and MPEG-2 standards. For example, the MPEG-4 basic animated texture profile is aimed for producing high-quality animated motion pictures at low rates. Although watermarking techniques have been successfully applied to natural images and video, little progress is found in the area of synthetic video. In this paper, we integrate a watermarking technique with the 2D meshes, the essential tool of the MPEG-4 basic animated texture profile. A temporal-domain wavelet transform is developed to extract the important feature locations for watermark embedding in a multi-resolution framework. Our method is robust against affine transformation and random noise attacks.

Keywords: digital watermarking, 2D meshes, MPEG-4, intellectual property protection, wavelet transform

一、簡介

隨著科技的進步，數位媒體資料已逐步取代傳統的類比式媒體資料，伴隨著網際網路的發展，數位媒體的傳播更是快速，種種因素都顯示著傳統類比式媒體資料將完全被數位媒體所取代的事實。

但另一方面，數位媒體也有著易於拷貝的特性，同樣地，伴隨著網際網路的發展，數位媒體易於傳播的特性也使得智慧財產權的保護遭受極大的挑戰，在未經版權擁有者同意的情況下，任何人均有能力非法散播受智慧財產權保護的資料，無論是有意或無意的行為均會使得版權擁有者的權益受損，這些因素使得廠商們卻步不前，遲遲不肯放棄傳統類比資料的處理方式。因此保護數位媒體資料防止遭受非法拷貝與散播也就日漸倍受重視，而目前最被看好的保護方式也就是數位浮水印。

目前數位浮水印的研究方向大多集中在文字、聲音、靜態影像([3]、[6])和視訊影片([6])中，這些數位媒體資料都屬於傳統的媒體資料型態，但隨著科技的進步近來也有越來越多的多邊形模型被廣泛使用，如 VRML、MPEG-4 和各式各樣 CAD 的軟體，而這些多邊形模型和一般數位媒體資料相同，容易遭受到版權侵害的問題，因此多邊形模型上數位浮水印的研究也就漸漸受到重視。

MPEG(Moving Picture Expert Group)組織最近所發表的 MPEG-4 規格和 MPEG-1、2 不同，它並不是為特定用途所制訂，換言之，MPEG-4 的目標是多用途。MPEG-4 預計將整合通訊(communications)，電腦應用(computing)和電視/電影等娛樂項目，可以想見 MPEG-4 將集多媒體娛樂功能於一身，但也因此使得 MPEG-4 本身的規格相當的龐大。

我們的浮水印技術將針對 MPEG-4 的中二維網目(2D dynamic mesh with uniform topology)資料進行保護，利用二維網目具備多邊形模型和影像特性的性質，提出利用時間領域進行小波分解並嵌入浮水印的技術，用以抵抗常見的雜訊攻擊。

接下來的章節將如下所安排，第二章介紹數位浮水印的應用和所需具備的特性，第三章介紹 MPEG-4 中二維網目的性質，第四章介紹目前在多邊形模型上的浮水印技術，第五章介紹我們所提出來的技術，第六章是一些實驗結果，第七章為結論和未來發展。

二、數位浮水印的應用和所應具備的特性

依據([3]、[6])對數位浮水印的定義，我們將數位浮水印的應用和所需具備的特性大致整理如下：

(一) 數位浮水印的應用

1· 著作權保護(Copyright Protection)。為了保護智慧財產，作品的擁有者可以在作品中加入保護資訊。當發生侵權行為時，即可利用該保護資訊來鑑別作品的真實擁有人，以達到保護智慧財產權的目的。

2· 特徵資訊(Fingerprinting)。作品擁有人也可在販賣該作品時在作品中加入不同的資訊，並將已加入不同資訊的作品販賣給不同的使用者，並將資料記錄下來。使用該特徵資訊不僅可保護智慧財產權而且還可根據加入的資訊，來對使用者進行使用能力分級。

3· 拷貝保護(Copy Protection)。將限制拷貝的資訊加入在作品中，當拷貝行為發生時，浮水印偵測軟體即限制拷貝行為。這部份的功能需搭配軟硬體實行。

4· 播送監視(Broadcast Monitoring)。在播送的訊號中加入保護資訊，並藉著自動監視軟體監視該訊號在傳輸過程中是否有侵權的行為發生。

5· 資料認證(Data Authentication)。資料在傳輸的過程中很容易遭到竊改，因此在資料中加入一個特殊的浮水印，此特殊的浮水印在傳輸過程中如果發現資料被不當竊改時即自動消失，如此一來，當接收端發現浮水印不存在時就可認定該資料已遭竊改，而且也可根據浮水印得知遭受竊改的位置。

6· 其它用途。數位浮水印不僅可用在版權保護上，利用浮水印在資料中加入索引資訊(index)，加快資料搜尋速度，也可將它利用在資料隱藏(data hiding)上，將欲傳輸的資料中隱藏在其它資料中，以防止資料被敵對競爭者所竊取。

(二) 數位浮水印所需具備的特性

1· 透通性(Transparency)。在大部份的應用中，浮水印系統都需在被保護的資料中加入浮水印資訊，但這往往會影響到被保護資料原本的特性。因此浮水印首要具備的條件，就是即使在嵌入浮水印資訊後也不可影響到被保護資料原本的特質，而且加入的資訊需是不可見的，即便使用未加入浮水印的資料和已加入浮水印的資料來相比較，也分辨不出明顯的不同處，這才算具備有透通性特性。

三、MPEG-4 二維網目

2·浮水印容量(Capacity)。浮水印的容量指的是浮水印系統最大所能嵌入的資訊量，嵌入資訊量的多寡和演算法及資料的特性有著極大的關聯。還有另一個與浮水印容量相關的特性，浮水印最小偵測單位(watermark granularity)，指的是偵測浮水印時所需的最小資料量。以國際書碼(ISBN)為例，嵌入的量為80個位元，相對的最少所需的資料量就為80個位元，所需的資料量和所使用的演算法有直接關係，不同的演算法所需的資料量自然就不同。而嵌入的方式也可選擇一次嵌入或分次嵌入，例如：影像序列，可選擇將80個位元嵌入到單一影像畫面(single frame)或將80個位元分散嵌入到數個影像畫面(multi frame)中，嵌入方式不同浮水印偵測的方法也就跟著不同，一次嵌入的方式只需抓取被嵌入浮水印的影像畫面即可還原，而多次嵌入的方式則需抓取數個影像畫面來還原浮水印，而這兩種作法各有各的好處。

3·強健性(Robustness)。在資料中加入浮水印的作法勢必將遭受盜版者的攻擊，攻擊浮水印的目的就是要將浮水印去除，使它失去保護資料的功能，而無論是有意或無意的攻擊均可能使得浮水印消失。因此浮水印必需能在某種程度上抵抗攻擊而不被摧毀，當然不可能有永不被摧毀的浮水印，但至少需做到當浮水印消失時資料品質也已降低到不堪使用的程度，如此才有保護資料的功能。

4·隱密性(Security)。在資料加密的技術中，有許多資料加密的方法是假設在他人不知曉得算法的情況下實行的，一旦演算法被他人所得知，資料加密的效果也就消失了。這部份資料加密和浮水印的情況是相同的，浮水印的強健不是建構在演算法不被他人得知的情況下，而是假設演算法是公開的。在演算法公開的情況下還能保有強健性，如此的浮水印才有它實質的效用。

5·私有浮水印(Private Watermark)和公有浮水印(Public Watermark)。這兩類浮水印的差別在於私有浮水印需原始未嵌入保護資訊的資料來還原浮水印，而公有浮水印則不需要原始資料即可還原浮水印。

上述的特性中強健性和浮水印容量其實是互相關聯的，嵌入較多資訊可得到較高的強健性，但勢必會強烈的影響到原始資料的品質，而嵌入較少的資訊雖可得到較高的品質，但相對的強健性就會不足。這兩項性質互相影響，必需取到一個平衡點才能在不影響品質的情況下又保有強健性。

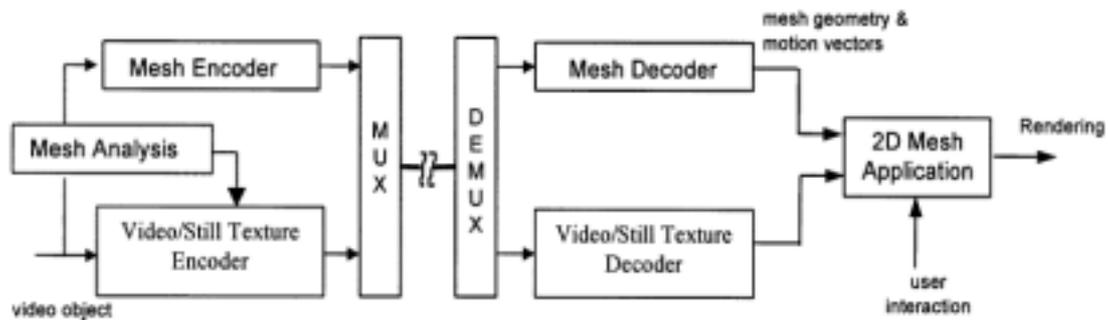
MPEG-4 [1]是個相當完整而龐大的標準，單一的應用很可能只需要其中部份的功能。為此 MPEG-4 定義了階層(level)與工具組(profile)，做為系統開發測試與交互作用的依據，相關廠商只須針對商品特性研發其相對應之階層與工具組即可。

階層定義了資料流複雜度的上限，如影像大小，碼率(bit rate)、物件數目、所需緩衝記憶體大小等。工具組定義了特定應用所必須具備的工具(tool)，如影像的主工具組(main profile)包含了視訊廣播所需要的工具。

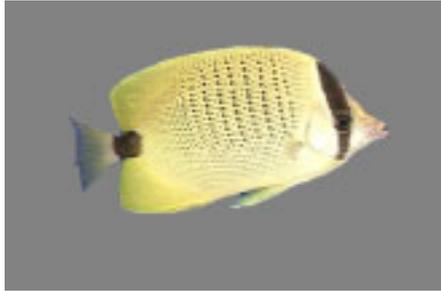
而 MPEG-4 所謂的工具代表解碼器功能性的要求，譬如是否能解讀含抗錯(error-resilience)、形狀(shape)、靜態紋理(still texture)、或臉部動畫(facial animation)等的壓縮資訊流。其中基本動畫工具組(basic animated texture profile)包含了 binary shape、scalable still texture、2D dynamic mesh with uniform topology、simple face 等四項工具。binary shape 用 0 跟 255 代表物件的像點(pixel)是否透過，scalable still texture (靜態紋理)提供漸進式的靜態紋理影像壓縮，2D dynamic mesh with uniform topology (二維網目)用規律的三角網目模擬物體的動作，而 simple face 提供臉部動畫編碼。基本動畫工具組讓媒體設計者可以用低碼率，以靜態圖片配合電腦圖學的技術製作互動式動畫。

2D dynamic mesh with uniform topology (二維網目)和 scalable still texture (靜態紋理)的編解碼方塊圖如圖(一)：編碼時(透過網目分析)先將影像物件(video object)的材質與網目分離出來，接著材質與網目經過各自編碼的過程，有關靜態紋理的編碼過程請參照相關資料。網目編碼器則將起始畫面網目的各點座標用差值編碼(differential coding)和霍夫曼編碼(Huffman code)，其餘的畫面用動態補償和可變長度編碼(variable length coding)壓縮。

將影像分為材質和網目可針對其特性進行壓縮的動作，如此可得到較好的壓縮比和品質，且可達到影像合成和影像再利用的功能，如：將 A 球鞋公司的廣告換成 B 球鞋公司的廣告，在不重拍廣告的情況下就可將廣告影片再賣給另一間球鞋公司，完全達到了影像資料庫的概念。圖(二)是魚的動畫，而圖(三)則是在魚身上加上”MPEG4”字樣，使”MPEG4”隨著魚身的動作而動作，只需改變材質就可達到不同的效果，這就是二維網目的真正訴求。



圖(一) 二維網目編解碼方塊圖



圖(二) 未加文字動畫



圖(三) 加入”MPEG4”文字動畫

四、應用在多邊形模型上的數位浮水印技術

一般影像上的數位浮水印技術已經發展了相當長的一段時間了，而在多邊形模型架構下的浮水印技術卻還只是剛剛起步，和一般影像浮水印技術相同，多邊形模型架構也必須滿足透通性、強健性和隱密性等要求，同樣地也分為私有浮水印和公有浮水印兩類。

但多邊形模型和一般影像的資料型態不同而這也使得它們所遭受的攻擊也不同，在幾何模型之下會遭受到的攻擊有，包括旋轉(rotation)、平移(translation)、縮放(scaling)等的仿射轉換(affine transformation)，網目重建(re-meshing)，多邊形簡化(polygon simplification)和雜訊加入等。如何抵抗這類的攻擊，提供可靠的強健性則是目前的研究重點。

目前在多邊形模型下的數位浮水印技術大約有以下數種：

(一) TSQ (Triangle Similarity Quadrature)

TSQ 演算法([7]、[8])是由 Ohbuchi 博士所提出的，而 Ohbuchi 博士則是第一位在多邊形模型上提出數位浮水印技術的先鋒。TSQ 利用四個相鄰的三角形做為浮水印資訊嵌入的基本單位，稱為 MEP (Marco Embedding Primitives)，藉著調整 MEP 中各個三角形的邊

線長度以嵌入浮水印資訊。MEP 中包含四個元素，分別為 Subscript、Marker 和 Data。Subscript，用來代表嵌入的資料是浮水印資訊的哪一部份，在偵測浮水印時須要它指示實際浮水印的排列方式，例如：一串文字資料可拆成數個字母且分別嵌在不同的 MEP 中，這時就得利用 Subscript 將資料排序以得到有意義的浮水印資訊。Marker，代表著該 MEP 的識別資料，偵測浮水印時須從為數眾多的三角形序列中找出實際嵌入資料的 MEP，而 Marker 即代表著該 MEP，利用 Marker 可有效地增進搜尋的效果。Data，實際嵌入資料的部份，分為 Data1 和 Data2。TSQ 可抵抗旋轉、平移和縮放等攻擊但是無法抵抗網目重建攻擊。

(二) TVR (Tetrahedral Volume Ratio embedding)

TVR 演算法([7]、[8])也是由 Ohbuchi 博士所提出的，TVR 演算法先將原始幾何模型架構成最小衍生樹(minimum spanning tree)，利用最小衍生樹來建構三角形序列，從三角形序列中選定一個基本三角形並利用它的體積當作參考體積，將三角形序列中各個三角形的體積除以參考體積以轉換成體積比例序列，調整體積大小將改變的量反應回各個三角形的頂點座標位置，如此即完成浮水印資訊的嵌入動作。

TVR 和 TSQ 相同除了可抵抗基本的攻擊之外，並可以抵抗仿射攻擊。

(三) 利用物面法向量嵌入資料的演算法

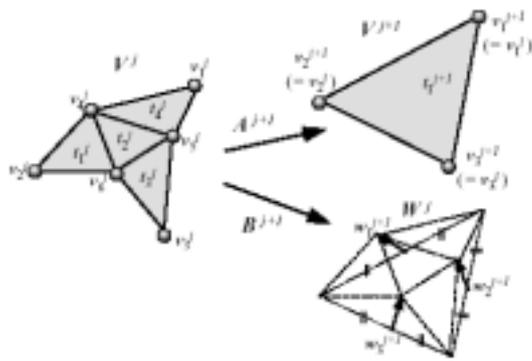
Oliver Benedens 博士提出以改變物面法向量(surface normal)的方式([2])來嵌入浮水印的演算法，首先在幾何模型中假設一個圓球，計算從圓球投射出的法線向量和物面法向量的相異度並將它們分類，處理完之後可得到浮水印嵌入的單位稱為 bin，將物面法向量投影至二維平面上改變其值即可嵌入浮水印資訊。

而浮水印偵測時需使用到未嵌入資料時的物面法向量，因此在浮水印嵌入的同時也需將其物面法向量儲存下來，當偵測浮水印時只需比較兩者間的差異即可得到嵌入的資訊達到版權保護的目的。

Oliver Bendens 博士所提出的方法，除了可抵抗基本的攻擊之外還可抵抗多邊形簡化攻擊。

(四) Multi-resolution Wavelet Transform

使用幾何小波(Geometry Wavelet transform)轉換技術([5])將原始的多邊形模型轉換成較低階層的多邊形模型，而在轉換過程中可得到各個階層的小波係數值 W^j (j 為階



圖(四) 多邊形模型小波分解

層編號)。| W^j | 的大小正好反映出多邊形模型的崎嶇程度，數值越大越崎嶇數值越小則越平緩。而人眼有著無法分辨崎嶇表面細微改變的特性，利用這個特性將資訊嵌在崎嶇度較高的 W^j ，如此對原始資料的影響程度自然較少。

如圖(4)所示，多邊形模型小波分解的方式是將四個三角形分解成一個三角形和三個對應的小波係數。四個三角形為一組共有六個頂點(vertex)，經過分解之後剩下一個三角形，在這過程中有三個頂點的資訊消失，這三個頂點的資訊分別被三個小波係數所取代了。而三個小波係數的值是由二個端點的中點和三個消失頂點間的差值所組成，重覆進行小波分解直到底層為止，最後再改變小波係數值以完成浮水印的嵌入動作。

此種技術歸類為頻域(frequent domain)並且嵌入方式必需使用 4-to-1 連接的多邊形模

型，但是大多數的多邊形模型都不是 4-to-1 的形式，所以該演算法在實際的應用上會遭受限制。

其它相關的多邊形模型浮水印技術請參照([4]、[9]、[10]、[11])。

五、我們的方法

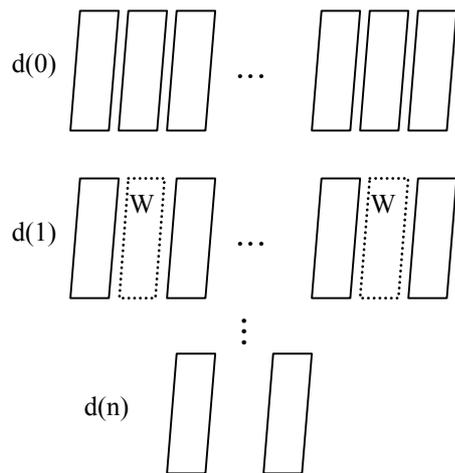
MPEG-4 二維網目是多邊形模型所組成的動畫，以單一個畫面的資料來看，二維網目即是多邊形模型，但以數個畫面的資料來看，二維網目和多邊形模型又有著明顯的不同，就如同單張影像和視訊影片間的差異性。

目前應用在多邊形模型上的數位浮水印技術大多是針對三維模型所設計，雖然這些技術都有一些不錯的效果，可是卻無法應用在 MPEG-4 二維網目上，因為二維網目的資料是在二維空間中，而目前多邊形模型的數位浮水印技術大多使用了三維空間中的特性，如物面法向量，這樣的特性在二維網目中是不存在的因此也就不適用。

因此針對二維網目我們提出利用在時間領域上進行小波分解的技術來嵌入數位浮水印的方法。

(一) 時間領域上的小波分解

時間領域上的小波分解就是利用前一個畫面(frame)和後一個畫面的特性來預測動態向量(motion vector)，該向量值的大小代表著畫面和畫面之間的差異量，差異量越大代表著區域的移動量較大，反之差異量越小代表著區域的移動量較小，而利用人眼對移動量較大的

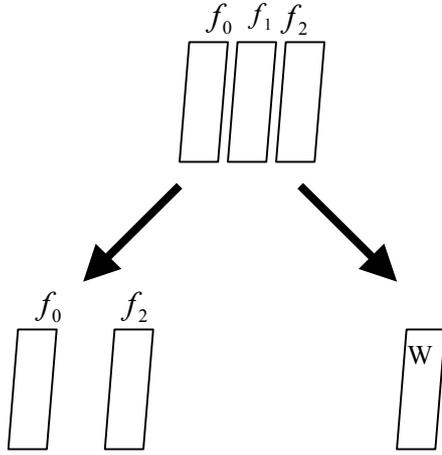


圖(五) 二維網目時間序列分解

區域較不容易察覺其變化的特性，在差異量較大的區域中嵌入浮水印，如此對影片的品質影響較小，也較不易被使用者察覺。

利用小波技術將二維網目序列分解成數個小波係數，該係數值就是動態向量值，接下來介紹時間領域小波分解和合成的方式。

解說方式採 Lazy Wavelet(3-to-2)的轉換方式說明，而我們實驗所使用的方法為 10-to-4 的小波轉換方式。



圖(六) 時間領域小波分解

如圖(五)所示，在較高的層級 j 中每三個畫面 f_0^j 、 f_1^j 和 f_2^j 為一組，並將它們分解成二個畫面 f_0^{j+1} 、 f_2^{j+1} 和一個小波係數 w_0^{j+1} 。

如圖(六)所示，在分解的過程中 f_0^{j+1} 、 f_2^{j+1} 保持和 f_0^j 、 f_2^j 相同，但是 f_1^j 的資訊則消失並被 w_0^{j+1} 所取代，每個 w 是由 f_0 、 f_2 的平均值和 f_1 間的差值所組成， f_1 所失去的資訊可以由 w 還原回來，因此小波轉換並不會造成資訊流失的現象。

在我們的實驗中使用的分解方式為；

$$F^{j+1} = A^{j+1} F^j \quad \dots(1)$$

$$W^{j+1} = B^{j+1} F^j \quad \dots(2)$$

其中 $F^j = [f_0^j, f_1^j, \dots, f_{m^j}^j]^T$ ，代表著層級 j 各個時間點的畫面，而 $W^{j+1} = [w_0^{j+1}, w_1^{j+1}, \dots, w_{m^{j+1}}^{j+1}]^T$ 則代表著層級 $j+1$ 的各個小波係數值，反覆的進行公式(1)和公式(2)直到底層為止，如此即可得到各個層級的小波係數。

A^{j+1} 和 B^{j+1} 稱為分解矩陣 (Analysis Filter)。

我們的浮水印嵌入即是在完成小波分解步驟之後，而完成浮水印的嵌入之後，就必需將它們還原為原始的動畫序列，以下是合成步驟；

$$F^d = A^d A^{d-1} A^{d-2} \dots A^2 A^1 V^0 \dots(3)$$

$$W^d = B^d A^{d-1} A^{d-2} \dots A^2 A^1 V^0 \dots(4)$$

相對於小波分解，小波轉換的合成方式如下；

$$F^j = P^{j+1} F^{j+1} + Q^{j+1} W^{j+1} \quad \dots(5)$$

P^{j+1} 和 Q^{j+1} 稱為合成矩陣 (Synthesis Filter)。

在我們實驗所使用的分解矩陣 A^{j+1} 和 B^{j+1} ，及合成矩陣 P^{j+1} 和 Q^{j+1} 請參照表(2)及表(3)。

(二) 數位浮水印的嵌入

進行完小波分解之後，得到一系列的小波係數(動態向量)，但並不是每一個小波係數都適合數位浮水印的嵌入。如果將浮水印嵌入在數值太小的小波係數上將使的影像品質變差，因此必須取一個臨界值(h)，只有大於該臨界值的小波係數有資格被嵌入浮水印。在符合資格的小波係數中選擇數個嵌入浮水印，並將這些位置記錄下來當成鍵值(key)，用來輔助浮水印的偵測。

至於數位浮水印嵌入強度(s)的部份，在 MPEG-4 二維網目中有著精確度的限制，也就是它限制最小的移動量。這限制在一般的多邊形模型中是不存在的，一般的多邊形模型的最小移動量大多是浮點數的最小精度，而在 MPEG-4 二維網目中有著最小移動量 0.5 的限制存在，這使得浮水印嵌入的強度受到限制，在我們實驗的結果中，當嵌入的強度差過 1 時，影像的品質已經相當的糟糕了，因此我們將嵌入的強度訂為 1 用以在強健性和透通性之間取得平衡點。

公式(6)是浮水印的嵌入方式，將原始小波係數 $W(i)$ 加上浮水印 $s * A(j)$ 即成為加入浮水印的小波係數 $W^m(i)$ ，藉著重覆公式(6)將浮水印資訊完整的嵌入在小波係數中。其中 $A = [a_0, a_1, \dots, a_n]$ 為浮水印位元序列 (bit stream)， n 為浮水印長度。

$$W^m(i) = W(i) + s * A(j) \quad \dots(6)$$

(三) 數位浮水印的偵測

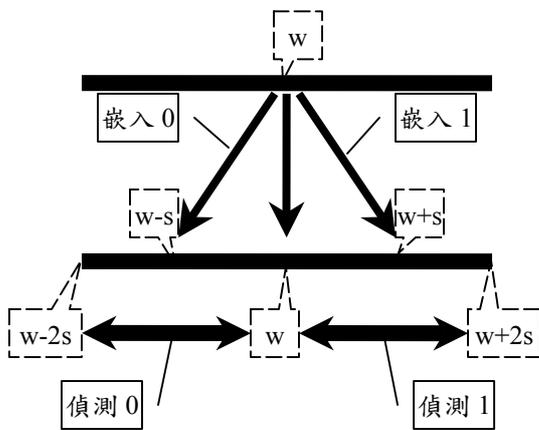
我們目前的方法是屬於私有浮水印 (private watermark)，所以需要使用原始的資料來輔助偵測浮水印。

首先將原始的二維網目序列和已嵌入浮水印的二維網目序列都經過小波轉換，利用之前記錄下來的鍵值得知浮水印嵌入的位置，並

利用來比較原始資料和已嵌浮入水印資料間的差異量。

$$s * A'(j) = W^m(i) - W(i) \quad \dots(7)$$

並藉著公式(7)將浮水印資訊取出，並且比對 A' 和 A 之間的相似性，判斷浮水印的正確與否。判斷浮水印正確性的方式如圖(七)所示， w 為小波係數值，嵌入 1 之後為 $w+s$ ，嵌入 0 之後為 $w-s$ 。偵測浮水印時如果該小波係數值 w' 介於 $w+2s$ 和 w 之間則浮水印為 1，如果小波係數值 w' 介於 $w-2s$ 和 w 之間則浮水印為 0，其它的情況都歸類為錯誤位元。錯誤率(bit error rate, BER)的計算方式則為， $BER = \text{err} \div n$ ， err 代表錯誤位元數， n 代表總嵌入位元數。



圖(七) 浮水印偵測範圍

六、實驗結果

MPEG-4 “flag”測試資料，共有 10 個畫面，每個畫面均是由 289 個頂點(vertex)和 51 個三角形(triangle)所組成的多邊型模型，所使用的材質為 320*240 YUV 4:2:2 的彩色圖像。

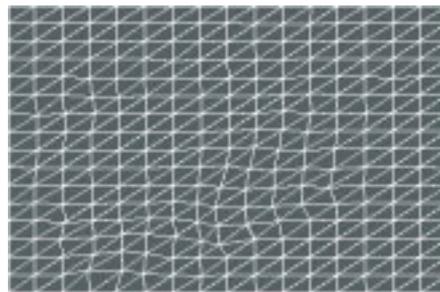
我們使用 MPEG-4 所提供的“flag”測試資料證明我們的演算法對雜訊攻擊的抵抗能力，flag 原始資料如圖(八)和圖(九)，就如同我們前面所提到的，MPEG-4 二維網目是由多邊型所構成的動畫，而在實驗中我們將浮水印嵌入在時間序列中，這樣的動作將對二維網目的各個畫面造成影響，因此我們在二維網目中取出一個時間點的畫面，用它來和原始資料相比較，判斷浮水印對影像的影響程度。

10 個畫面的資料經 10-to-4 的小波轉換之後會產生 4 個低頻係數和 6 個高頻小波係數，在接下來的實驗中我們將 80 個位元且強度為 1 的浮水印資料嵌入在這 6 個小波係數中。強度 1 是我們經由實驗所獲得的數據，當嵌入的強度超過 1 時，將對影像的品質造成強烈的影響，如圖(十)和圖(十一)，分別嵌入強度為 1 和 2 的浮水印，藉著比較圖(八)和圖(十一)可以明顯的看出和原始圖像之間的差異性，但是圖(八)和圖(十)之間的差異性就比較沒有那麼的明顯，由此就可看出選擇強度為 1 的浮水印是正確的，而強度為 2 的浮水印確實對影像的品質影響太大。

在實驗中我們選擇了強度為 0.5、1 和 1.5 等三個攻擊方式做測試，雜訊數量百分比的範圍由 0%到 100%，雜訊數量百分比的衡量方式



圖(八) 原始圖像



圖(九) 原始圖像(未加材質)



圖(十) 浮水印強度 1



圖(十一) 浮水印強度 2

是雜訊數量和該畫面總頂點(vertex)數間的比值，例如；總頂點數為 289，當雜訊數量為 8 時換算成雜訊數量百分比就為 10%。圖(十二)顯示的結果為加入強度為 1 的浮水印之後，再遭受到強度為 0.5、1 和 1.5 等雜訊攻擊的浮水印偵測錯誤率曲線圖。由圖(十二)的結果可以看出我們的方法在雜訊強度為 0.5 和 1 時，浮水印偵測的錯誤率相當的低，但當雜訊的強度超過 1 後，浮水印偵測的錯誤率相當的差，但此時的影像品質也已經相當難以接受，這也證明了我們的方法在此雜訊攻擊的強健性已經足夠。

圖(十三)為浮水印經各個雜訊強度和雜訊數量攻擊下的結果，藉由 PSNR 我們可以明顯的看出雜訊強度為 1.5 對影像品質造成的影響相當的大，影像品質普遍都已降至 30dB 以下。

七、結論及未來工作

在時間領域上進行浮水印的嵌入，有助於抵抗如仿射轉換的一些基本幾何操作，因為仿射轉換只是在空間座標上做轉換，雖然頂點(vertex)的位置有所改變，但在時間領域中的動作並沒有改變，如原動畫中是一隻向某個方向跑的貓，經過仿射轉換之後，雖然貓的位置改變了，但是跑的動作不變，貓仍是向某個方向跑，而這些資訊經由小波轉換之後仍然是不變的，因此我們的方法確實是可以抵抗仿射轉換的攻擊。

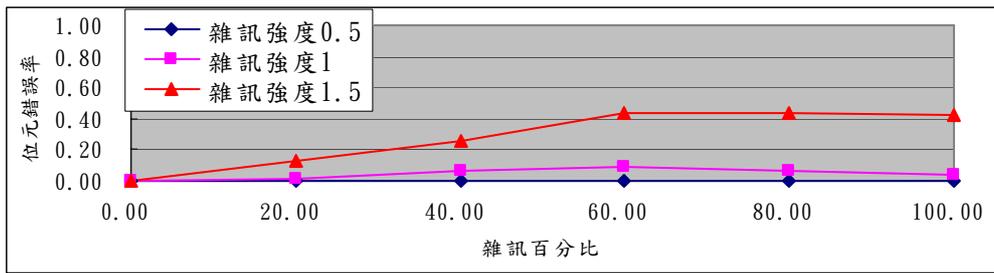
在未來我們也將考慮在空間的領域上也加入浮水印，如此既可以對時間領域和空間領域提供適當的保護，進而提供對 MPEG-4 二維網目提供完整且有效的數位浮水印保護系統。

誌謝

本計劃由承蒙國科會予以補助(計畫編號 NSC 90-2213-E-027-012)，特此誌謝。

參考文獻

- [1] ISO/IEC 14496-2, Coding of Audio-Visual Objects: Visual.
- [2] O. Benedens, "Geometry-based Watermarking of 3D models", IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 19(1), pp. 46-55.
- [3] F. Hartung and M. Kutter, "Multimedia watermarking techniques", Proc. of IEEE Vol. 87, No. 7, pp. 1079-1107, July 1999.
- [4] F. Hartung, P. Eisert and B. Girod, "Digital watermarking of MPEG-4 facial animation parameters", Computer and Graphics, Vol. 22, No. 4, pp. 425-435, Elsevier, 1998.
- [5] S. Kanai, H. Date and T. Kishinami, "Digital watermarking for 3D polygons using multi-resolution wavelet decomposition", Proc. Sixth IFIP WG 5.2 GEO-6, pp. 296-307, Tokyo, Japan, December 1998.
- [6] G. C. Langelaar, I. Setyawan and R. L. Lagendijk, "Watermarking digital image and video data. A state-of-the-art overview", IEEE Signal Processing Magazine, Vol. 17, No. 5, pp. 20-46, Sept. 2000.
- [7] R. Ohbuchi, H. Masuda and M. Aono, "Watermarking 3D polygonal models", Proc. ACM Multimedia '97, 1997.
- [8] R. Ohbuchi, H. Masuda and M. Aono, "Watermarking three dimensional polygonal models through geometry and topological modifications", IEEE Journal on Selected Areas in Communication, Vol. 16, No. 4, pp. 551-560, 1998.
- [9] E. Praun, H. Hoppe and A. Finkelstein, "Robust mesh watermarking", Proc. SIGGRAPHIC '99, pp. 49-56, Aug 1999.
- [10] M. G. Wanger, "Robust watermarking of polygonal meshes", Proc. Geometric Modeling & Processing 2000, pp. 201-208, Hong Kong, April 10-12, 2000
- [11] B.-L. Yeo and M. M. Yeung, "Watermarking 3D objects for verification", IEEE CG&A, pp. 36-45, January/February 1999.



圖(十二) 浮水印強度 1 和雜訊強度 0.5、1 和 1.5



(a) 浮水印強度 1、雜訊強度 0.5 和雜訊 60%



(b) 浮水印強度 1、雜訊強度 0.5 和雜訊 100%



(c) 浮水印強度 1、雜訊強度 1 和雜訊 60%



(d) 浮水印強度 1、雜訊強度 1 和雜訊 100%



(e) 浮水印強度 1、雜訊強度 1.5 和雜訊 60%



(f) 浮水印強度 1、雜訊強度 1.5 和雜訊 100%

圖(十三) 遭受雜訊強度為 0.5、1 和 1.5 及雜訊數量為 60%和 100%之雜訊攻擊後的結果

表(1) 在各個雜訊強度和雜訊數量攻擊下亮度之 PSNR (in dB)

雜訊百分比	雜訊強度 0.5 之 PSNR	雜訊強度 1 之 PSNR	雜訊強度 1.5 之 PSNR
0%	38.167347	38.167347	38.167347
20%	35.015778	30.922685	28.590762
40%	34.172233	29.11717	26.482839
60%	32.374449	28.278649	26.285691
80%	32.193203	28.239755	25.865826
100%	31.666656	27.961237	25.411856

$$A^{j+1} = 1/16 \begin{bmatrix} 7, 6, 6, -1, -2, -2, -1, -2, 6, -1 \\ -1, 6, -2, 7, 6, 6, -1, -2, -2, -1 \\ -1, -2, 6, -1, 6, -2, 7, 6, -2, -1 \\ -1, -2, -2, -1, -2, 6, -1, 6, 6, 7 \end{bmatrix}$$

$$B^{j+1} = 1/2 \begin{bmatrix} -1, 2, 0, -1, 0, 0, 0, 0, 0, 0 \\ -1, 0, 2, 0, 0, 0, -1, 0, 0, 0 \\ 0, 0, 0, -1, 2, 0, -1, 0, 0, 0 \\ 0, 0, 0, -1, 0, 2, 0, 0, 0, -1 \\ 0, 0, 0, 0, 0, 0, -1, 2, 0, -1 \\ -1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 2, -1 \end{bmatrix}$$

表(2) 分解矩陣 A 和 B

$$P^{j+1} = 1/2 \begin{bmatrix} 2, 0, 0, 0 \\ 1, 1, 0, 0 \\ 1, 0, 1, 0 \\ 0, 2, 0, 0 \\ 0, 1, 1, 0 \\ 0, 1, 0, 1 \\ 0, 0, 2, 0 \\ 0, 0, 1, 1 \\ 1, 0, 0, 1 \\ 0, 0, 0, 2 \end{bmatrix} \quad Q^{j+1} = 1/8 \begin{bmatrix} -3, -3, 1, 1, 1, -3 \\ 5, -1, -1, -1, 1, -1 \\ -1, 5, -1, 1, -1, -1 \\ -3, 1, -3, -3, 1, 1 \\ -1, -1, 5, -1, -1, 1 \\ -1, 1, -1, 5, -1, -1 \\ 1, -3, -3, 1, -3, 1 \\ 1, -1, -1, -1, 5, -1 \\ -1, -1, 1, -1, -1, 5 \\ 1, 1, 1, -3, -3, -3 \end{bmatrix}$$

表(3) 分解矩陣 A 和 B