

## DCT 영역에서의 삼차원 모델 워터마킹 방법

전정희, 호요성, \*서영호  
광주과학기술원, \*한국전자통신연구원  
전화: 062-970-2293 / 016-681-9512

### A 3-D Model Watermarking Scheme in the DCT Domain

Jeonghee Jeon, Yo-Sung Ho, \*Young Ho Suh  
Kwangju Institute of Science and Technology(K-JIST)  
\*Electronics and Telecommunications Research Institute(ETRI)  
E-mail: {jhjeon, hoyo}@kjist.ac.kr, syh@etri.re.kr

#### Abstract

In this paper, we propose a new scheme for 3-D model watermarking in the DCT domain. In order to embed and extract watermark signals in the 3-D model, we generate triangle strips by traversing the 3-D model and transform its vertex coordinates into the DCT domain. Watermark signals are inserted into the midrange of AC coefficients. Experimental results demonstrate that our scheme is robust against additive random noise, the affine transformation, and geometry compression by the MPEG-4 SNHC standard.

#### I. 서론

근래에 들어 디지털 멀티미디어 데이터에 대한 워터마킹 기술은 양적으로나 질적인 측면에서 비약적으로 발전을 하였다. 그러나 CAD(computer aided design)와 VR(virtual reality)에 관련된 삼차원 데이터에 대한 워터마킹 기술은 아직 초보적인 단계이다. 그 주된 이유는 영상이나 비디오 또는 오디오에 적용했던 워터마킹 기술을 삼차원 모델에 직접적으로 적용하기가 어렵기 때문이다. 특히, 기존의 워터마킹 기술은 주파수 영역(frequency domain)으로의 변환이 용이했지만, 삼차원 메쉬 모델(3-D mesh model)을 다른 영역으로 변환하

여 워터마크를 삽입하거나 추출하는 것은 쉽지 않다. 최근 삼차원 데이터를 변환 영역에서 워터마킹하는 몇 가지 방법이 제안되었다. Kanai는 삼차원 메쉬 모델의 다중해상도 표현(multi-resolution representation, MRR)에 웨이블릿(wavelet) 변환을 적용하여 웨이블릿 계수 벡터에 워터마크 신호를 삽입하는 방법을 제안하였다 [1]. 반면, Obuchi는 메쉬의 연결성(connectivity) 정보를 이용해 고유치(eigenvalue)와 고유벡터(eigenvector)를 계산하고, 각 꼭지점 좌표를 정규화된 고유벡터 집합으로 투영(projection)시켜 주파수(spectral) 영역으로 변환시킨 후, 워터마크 신호를 삽입하는 알고리즘을 제안했다 [2].

그러나 이런 방법들은 기존 워터마킹 방법에서 흔히 사용되었던 DCT 영역을 직접적으로 이용하기가 어렵다. 따라서 본 논문에는 JPEG이나 MPEG 영상압축 그리고 워터마킹 기법에서 흔히 사용되는 DCT 변환을 삼차원 메쉬 모델에 적용시킨 새로운 삼차원 모델 워터마킹 방법을 제안한다.

#### II. 삼차원 모델 워터마킹

본 논문에서 제안하는 알고리즘은, 그림 1에 나타낸 것과 같이 세 단계로 구성된다. 삼차원 모델을 운행(traversing)하여 삼각형 스트립(triangle strips)을 만드는 부분과 DCT와 IDCT 변환 부분, 그리고 삼차원 모델에 워터마크 신호를 삽입하거나 추출하는 부분이다.

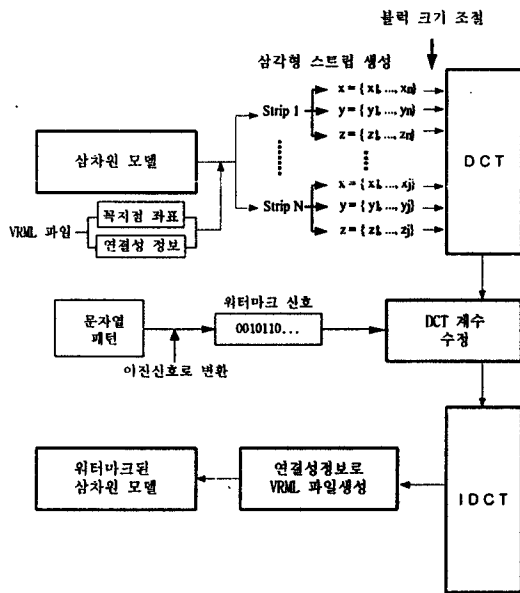


그림 1. 삼차원 모델의 웨터마킹 방법

### 2.1 삼각형 스트립(triangle strip) 생성

일반적으로 삼각형 매쉬를 삼각형 스트립으로 만들어 렌더링(rendering)하면 보다 단순하고 명료한 형태로 처리하고 저장할 수 있다. 여기서 삼각형 스트립이란, 그림 2에 보인 것과 같이, 공유된 꼭지점의 인덱스(index) 목록을 말한다.

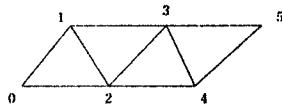


그림 2. 단순한 삼각형 매쉬

그림 2에서 삼각형 012, 123, 234, 345로 구성된 삼각형 매쉬는 012345이라는 삼각형 스트립을 만든다. 하지만 임의의 삼각형 매쉬로부터 스트립을 만들기 위한 유일한 해법은 현재 존재하지 않는다 [3].

본 논문에서는 P. Terdiman에 의해 제안된 삼각형 스트립 생성 방법을 이용하였다 [4]. 우선 삼각형 스트립을 만들기 위해 이웃하는 다른 삼각형들과 가장 적게 연결된 삼각형을 초기 삼각형으로 선택하여 세 개의 에지 방향으로 각각 스트립을 만든다. 만일 출발했던 면으로 다시 연결되거나 매쉬의 경계 부분에 이르러 더 이상 진행할 수 없는 경우에는 스트립 생성을 멈추고 만들어진 세 개의 스트립 중에서 가장 긴 인덱스를 갖고 있는 스트립을 선택한다. 그리고 가능한 모

든 스트립을 생성하기 위해서 스트립을 뒤집어 반대 방향으로도 확장시켜 본다. 따라서 한쪽 방향으로 스트립을 연결해 가다가 더 이상 연결할 수 없는 면에 도달하더라도 진행했던 스트립을 따라 다시 되돌아와 연결성이 존재하는 다른 면으로 또 다른 스트립을 계속해서 만들 수 있다.

본 논문에서는 VRML 파일의 연결성 정보와 꼭지점 좌표들로부터 삼차원 매쉬 모델을 표현하고, 이 모델을 앞서 설명한 방식대로 운행하여 삼각형 스트립을 생성한다. 이때 각 스트립에 포함된 꼭지점의 집합은 각기 다르며, 또한 삼차원 모델마다 스트립의 개수와 크기도 역시 다르게 만들어진다. 이것은 일부 삼차원 웨터마킹 알고리즘에서 강인성(robustness)을 높이기 위해 사용하는 지역분할(partition) 방법이나 패치(patch)를 이용하는 방법과 유사한 의미를 갖는다 [2]. 이런 삼각형 스트립 구성 방법을 이용한다면 웨터마크 신호의 강인성(robustness)을 증진시킬 수 있다.

### 2.2 DCT 및 IDCT 변환

삼각형 스트립을 이용해 DCT 변환을 하기 위한 개념은 매쉬압축 분야에서 제안되었다 [5]. 먼저, 초기 삼각형을 무작위로 선택한 뒤, 시계방향으로 이웃하는 꼭지점을 따라 매쉬를 운행하여 삼차원 모델을 길게 연결된 한 개의 삼각형 스트립으로 만든다. 그리고 그 스트립을 적절한 크기의 블록(block)으로 분할(segment)하여 DCT 변환을 수행한 다음, 고주파 영역을 제거하는 방식으로 삼차원 매쉬를 압축하였다.

그러나 본 논문의 삼각형 스트립은 임의의 삼차원 모델을 통해 만들어지는 스트립의 개수는 여러 개가 될 수 있으며, 블록 크기는 그림 3과 같이 패딩(padding) 동작을 통해 조절된다.

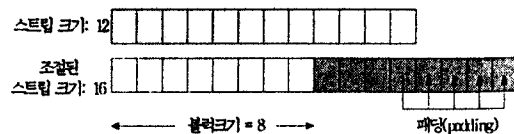


그림 3. 스트립의 블록 크기 조절

블록 크기를 일정한 크기로 조절한 후, 식 (1)과 식 (2)로 정의된 일차원 DCT와 IDCT 변환식을 사용해 각 좌표축마다 독립적으로 DCT 계수를 계산한다.

$$DCT: X(k) = \sqrt{\frac{2}{N}} C_k \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cos\left[\frac{-(2n+1)k\pi}{2N}\right] \quad (1)$$

$$IDCT: x(n) = \sqrt{\frac{2}{N}} C_k \sum_{k=0}^{N-1} X(k) \cos\left[\frac{-(2n+1)k\pi}{2N}\right] \quad (2)$$

여기서  $k=0,1,\dots,N-1$  이고  $n=0,1,\dots,N-1$ 이며  $C_k = \begin{cases} 1/\sqrt{2}, & k=0 \\ 1, & k \neq 0 \end{cases}$ 이다.

2.3 워터마크 삽입 및 추출

일반적으로 공간영역보다 변환된 영역에서 워터마킹 신호를 삽입하고 추출하는데, 그 주된 이유는 변환된 영역에서 비교적 용이하게 워터마크 신호의 강인성과 비지각성(imperceptibility)을 고려할 수 있기 때문이다. 따라서 삼차원 매쉬 모델의 압축등과 같은 공격에 강인하면서 삼차원 매쉬 모델의 외형적인 변화를 최소화하기 위해 AC 계수의 중간 주파수 대역에 워터마크를 삽입한다.

본 논문에서 제안한 삼차원 모델의 워터마킹 방법은 기본적으로 Hartung의 확산 스펙트럼(spread spectrum) 방식과 비슷하다 [6]. 먼저, 삽입할 워터마크 신호를 그림 1과 같이 이진 영상이나 문자열을 이용할 수 있게 만들었다. 그리고 사용자로부터 소유권을 주장할 수 있는 의미있는 문자열을 최대 5글자까지 입력받아 7비트 ASCII 코드로 변환시킨 후, 변환된 이진신호를 삼차원 모델에 삽입할 수 있도록 구성한다. 이렇게 삽입할 이진 워터마크 신호는 식 (3)과 같다.

$$a_j = (a_1, \dots, a_m) \quad a_j \in \{0, 1\} \quad (3)$$

이 신호를 식 (4)와 같이 넓은 대역폭으로 확산시킨다.

$$b_i = a_j, \quad j \cdot c \leq i \leq (j+1) \cdot c \quad (4)$$

$$b_i = 2b_i - 1 \quad (5)$$

식 (4)에서  $c$ 는 반복회수(chip rate)이고  $b_i$ 의 이진 신호를 식 (5)와 같이 바꾼다. 이런 워터마크 신호  $b_i$ 는 DCT 변환에 의해 산출된 DC와 AC 계수 값들 중에 AC 계수의 중간 주파수 대역에  $x, y, z$ 축을 따라 각각 독립적으로 식 (6)과 같이 삽입한다.

$$\hat{C}_{x,i} = C_{x,i} + b_i' \cdot p_i \cdot \alpha \quad (6)$$

여기서  $p_i$ 는 시드(seed) 값에 의해 생성된 의사잡음 시퀀스 PRNS(Pseudo-Random Number Sequence)이고,  $\alpha$ 는 워터마크 신호의 변조강도(modulation amplitude)이다.  $C_{x,i}$ 는  $x$ 좌표 중에  $i$ 번째 DCT 계수로서, 아직 워터마크가 삽입되지 않은 계수를 말한다.

$y$ 나  $z$ 축 좌표의 AC 계수 값에 대해서도 동일하게 적용된다. 워터마크 신호가 삽입된 계수  $\hat{C}_{x,i}$ 는 식 (2)에 의해 역변환 후 삼차원 모델로 표현된다.

워터마크 신호 추출과정은 워터마크 삽입과정과 비슷하다. 즉, 원 모델과 워터마크가 삽입된 모델 또는 악의적인 공격을 받은 모델을 식 (7)과 같이 DCT 영역에서 비교하여 워터마크 신호를 추출한다.

$$E_i' = (\hat{C}_{x,i} - C_{x,i}) \cdot p_i \quad (7)$$

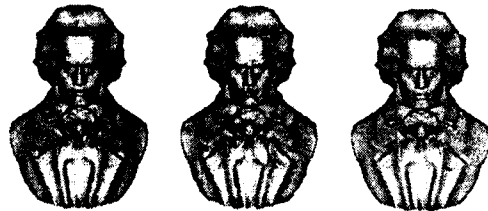
이때 추출된 신호  $b_i'$ 는  $b_i$ 로 변환한 다음  $a_j$ 로 바꾼다.  $a_j$ 는 ASCII 코드를 이용해 문자열 형태로 표현할 수 있으므로 사용자가 삽입한 워터마크 신호의 문자열인지를 확인할 수 있다.

III. 실험결과 및 분석

본 논문에서 제안한 워터마킹 방법의 강인성을 평가하기 위해 워터마크가 삽입된 삼차원 모델에 세 가지 형태의 공격(attacks)을 가한 후 삽입한 워터마크가 여전히 살아남을 수 있는지를 실험했다. 즉, 무작위 잡음(random noises) 첨가, 어파인(affine) 변환 그리고 MPEG-4 표준 기하압축(geometry compression)으로 공격한다.

실험을 위해 2521개의 꼭지점과 5030개의 면(face)으로 이루어진 베트벤 모델을 사용한다. DCT 변환을 위해 사용한 블록의 크기는 8이고,  $c$ 는 1이며, 워터마크 신호는 소유권을 주장할 수 있는 의미있는 문자열인 "KJIST"를 반복적으로 삽입한다.

그림 4는 원래의 베트벤 모델과  $\alpha$ 에 따라 변화된 삼차원 모델의 외관을 볼 수 있다.  $\alpha$ 를 크게 하면 삽입한 신호를 추출하기가 용이하지만, 그림 4(b)와 같이 모델의 입과 코 주변의 외관이 변형된다. 그러나 그림 4(c)와 같이  $\alpha$ 를 작게 하면, 비지각성이 좋아지지만 삽입한 워터마크 신호를 추출하기가 어려워진다.



(a) 원 모델 (b)  $\alpha=3.5$  (c)  $\alpha=0.07$

그림 4 베트벤 모델의 워터마킹

워터마크 신호가 첨가된 베토벤 모델에 어파인 변환과 무작위 잡음첨가 그리고 MPEG 표준 기하 압축 공격을 한 결과가 그림 5에 있다.



(a) 잡음첨가 (b) Affine 변환 (c) MPEG-4 압축  
그림 5. 다양한 공격

무작위로 잡음을 첨가하는 방법은 먼저, 모델의 바운딩 박스(bounding box)를 계산하고, 가장 큰 변위(displacement)값과 바운딩 박스의 최대 값과의 비율(%)을 구한다. 이렇게 계산된 비율의 범위 내에서 PRNS를 좌표 값에 첨가시킨다. 그림 5(a)는 0.85% 정도로 잡음을 삽입한 예제이다. 어파인 변환 공격은 임의의 한 축에 대한 좌표값들을 확대시키고, 다른 축의 좌표값들은 축소시켰으며 또한 쉬어링(shearing)을 적용했다. 또한 우리는 MPEG-4 SNHC의 표준 기하 압축을 워터마크가 삽입된 베토벤 모델에 적용했다. 위와 같은 다양한 공격을 가한 베토벤 모델로부터 삽입한 워터마크를 추출한 실험결과를 표 1에 정리했다.

표 1. 워터마크 추출 실험결과

신호변조	공격형태	삽입회수	추출회수	
$\alpha=1.5$	잡음첨가	0.3%	21	1
		0.2%	21	13
		0.1%	21	20
$\alpha=0.9$	어파인변환	21	7	
$\alpha=0.9$	MPEG 기하압축 (96 bits)	15.8 bits	21	3
		21.8 bits	21	17
		27.8 bits	21	21

표 1에서 삽입/추출 회수란 "KJIST"라는 문자열을 베토벤 모델에 삽입하고 추출한 회수를 말한다. 기본적으로 모델의 외관이 손상되지 않는 범위 내에서 잡음을 첨가시켰다. 표 1의 실험결과에서 잡음 비율이 최대 0.3% 이하인 경우에 삽입한 35비트 워터마크 신호를 항상 탐지해 냈다. 또한, 그림 5(b)와 같이 모델의 외관이 심각하게 변형되도록 어파인 변환에도 불구하고 삽입한 워터마크 신호를 탐지해 냈고, MPEG-4에서 제안한 표준 압축에 의한 공격에도 강인함을 표 1의 실험 결과에서 확인할 수 있다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 영상처리의 여러 분야에서 많이 사용되는 DCT 변환을 삼차원 모델에 적용한 새로운 삼차원 모델 워터마킹 방법을 제안하였다. 특히, 삼차원 메쉬 압축 방법에서 사용되는 삼각형 스트립 생성기법을 응용하였으며, 삼차원 모델의 꼭지점 좌표를 독립적으로 DCT 변환했다. 디지털 워터마크 신호의 강인함과 비가시성을 높이기 위해서, AC 계수값의 중간 주파수대에 워터마크 신호를 삽입하였다. 컴퓨터 모의실험을 통해 우리는 제안한 삼차원 워터마킹 기법이 무작위 잡음 첨가, 어파인 변환, 그리고 삼차원 메쉬의 MPEG-4 SNHC 기하압축 공격 등에 대해 강인하다는 것을 확인했다.

#### 감사의 글

본 연구는 광주과학기술원 (K-JIST) 초고속광네트 워크 연구센터 (UFON)를 통한 한국과학재단 우수연구센터 (ERC)와 교육부 두뇌한국21 (BK21) 정보기술 사업단의 지원에 의한 것입니다.

#### 참고문헌

- [1] S. Kanai, H. Date and T. Kishinami, "Digital Watermarking for 3-D Polygons Using Multiresolution Wavelet Decomposition," Proceeding sixth IFIP WG 5.2 GEO-6, pp. 296-306, Dec. 1998.
- [2] R. Obuchi, A. Mukaiyama and S. Takahashi, "A Frequency-Domain Approach to Watermarking 3-D Shapes," Computer Graphics Forum21(3), pp. 373-382, Sept. 2002.
- [3] F. Evans, S. S. Skiena and A. Varshney, "Optimizing Triangle Strips for Fast Rendering," IEEE Visualization'96, pp. 319-326, Oct. 1996.
- [4] P. Terdiman, <http://codercorner.com>
- [5] J. H. Ahn, C. S. Kim, C.-C. Jay Kuo and Y. S. Ho, "Motion Compensated Compression of 3-D Animation Models," SPIE Visual Communications and Image Processing, pp. 593-602, Jan. 2002.
- [6] F. Hartung, P. Eisert and B. Girod, "Digital Watermarking of MPEF-4 Facial Animation Parameters," Computer and Graphics, Vol. 22, No. 4, pp. 425-435, Elsevier, 1998.