

# 정점간 거리의 DCT를 이용한 3차원 메쉬 모델 워터마킹

김성준, 김정엽, 현기호  
영산대학교 정보통신대학원  
e-mail:jun6675@hanmail.net

## Watermarking of 3D Mesh Model using DCT of Distances between Vertices

Sung-Jun Kim , Jeong-Yeop Kim , Ki-Ho Hyun  
Graduate School of Information Communications  
YoungSan University

### 요 약

본 논문은 3차원 메쉬 모델의 정점간 거리 및 DCT를 이용한 3차원 메쉬 모델 워터마킹 방법을 제안한다. 제안한 방법은 3차원 메쉬 모델의 임의의 정점간 거리를 이용하여 워터마킹하게 되며 삽입 시 임의의 정점간 거리집합을 DCT 변환 하여 그 계수 값에 워터마크가 삽입된다. 그러므로 정점간의 거리를 DCT변환하여 삽입함으로써 비지각성 및 여러 공격에 강인하다. 또한 워터마크 크기만큼의 여러 거리집합을 생성하여 사용함으로써 지역패치 및 지역분할 개념으로써 부분적인 공격에 강인하며 3차원 메쉬 모델의 페이스모양에 상관없이 워터마크를 삽입 할 수 있다.

### 1. 서론

최근 이미지나 비디오와 같은 디지털 콘텐츠들 불법 복제나 배포로부터 보호하기 위해 많은 연구가 진행되고 있고 그에 따른 여러 가지 성과를 보이고 있는 것이 사실이다. 그러나 영화 및 캐릭터산업과 같은 영상산업 및 디자인 등에 보편화 되어 사용되고 있는 3차원 메쉬 모델의 보호는 활발한 연구가 이루어지고 있지 않다[1]. 3차원 기하모델, 폴리곤 모델, 솔리드 모델, 서페이스 모델과 같은 CAD, CAM, CAE등의 결과물들은 특성상 복제 및 편집이 용의하고 이에 따라 명확한 소유권을 가려내기가 힘든 상태이다. 3차원 데이터 모델의 워터마킹은 화소 값이나 음성신호를 사용하는 2차원 데이터의 워터마킹과는 달리 3차원 기하모델에서 꼭지점 정보와 연결성정보와 같은 기하정보, 위상정보를 이용하여 워터마크 한다.

3차원 모델 워터마킹 방법을 살펴보면 Ohbuchi는 3차원 메쉬 모델의 분광영역에 워터마크를 삽입하여 3차원 데이터 모델의 공간영역을 이용한 방법을 제

안하였다[2]. 워터마킹은 꼭지점 정보 및 연결성정보 자체에 직접 워터마크를 삽입함으로써 삽입 및 추출 시간은 빠르나, 비지각성 및 인위적인 공격에 취약하고 특히 메쉬 연결성정보를 바꾸는 공격에 약하다

Kanai는 3D메쉬 모델을 웨이브릿 변환하여 웨이브릿 계수 값에 워터마크를 삽입하는 변환영역을 이용한 워터마킹 방법을 제안하였고 비지각성 및 기하공격에 강인함을 보였지만 변환 및 역변환이 필요하여 공간영역 워터마킹 보다 복잡하고 3차원 메쉬 모델이 4-to-1 세분화를 만족해야 하는 단점을 가지고 있다[3][4]. Francois의 방법은 양자화 과정에서 원래 모델의 영상이 왜곡되는 문제점이 있다[5].

본 논문은 3차원 메쉬 모델의 정점간 거리를 생성하여 DCT변환한 뒤 주파수 변환된 명암 이미지를 삽입하는 방법을 제안하였다. 이 방법은 모델의 페이스(face)모양에 관계없이 워터마크를 삽입할 수 있으며 정점간 거리를 이용함으로써 꼭지점에 직접 워터마크를 삽입하는 방법보다 좌표 값의 변화를 최소화 할수 있다. 또한 DCT 변환을 함으로 비지각성

및 기하공격에 강인함을 보였다.

## 2. DCT변환을 이용한 3차원 모델 워터마킹 기법

워터마킹 방법중 공간영역을 주파수 영역으로 변환하여 워터마크 신호를 삽입하면 워터마크에 대한 공격에 대하여 살아남을 수 있고, 인간이 삽입한 워터마크 신호를 쉽게 인지할 수 없는 주파수 대역을 고려할 수 있기 때문이다.

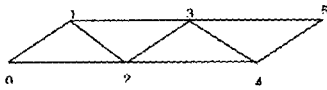


그림 1. 삼각형 스트립

그림 1과 같이 3차원 메쉬 모델에서 삼각형 스트립을 생성하고, 각 스트립에 속한 꼭지점 좌표들을 각 좌표축에 따라 DCT변환한다. 그리고 중간 주파수 대역에 워터마크 신호를 반복 삽입하여 워터마킹한다. 위의 방법은 DCT변환 및 삼각형 스트립을 이용함으로 빠른 데이터 처리가 가능하며 공격 및 비저각성에서 뛰어 나지만, 3차원 모델이 삼각형 메쉬 모델에 국한 된다는 단점이 있다[1].

## 3. 3차원 데이터 모델

3차원그래픽데이터의 하나인VRML(Virtual Reality Modeling Language)은 web3D 기술 중 하나로 웹 상에서 물체를 돌려보거나, 현실과 같이 공간을 이동 할 수 있게 해주는 기술이다.

```
Coordinate3 {
  point [
    0.175257 -0.000298694 0.146335,
    0.218345 -0.00618755 0.119755,
    0.191715 -0.00618755 0.103328, ...
  ]
}
IndexedFaceSet (
  coordIndex [ 90, 80, 79, -1,
              79, 89, 90, -1,
              88, 89, 79, -1,
              79, 78, 88, -1,
              88, 78, 77, -1,
              77, 87, 88, -1, ... ]
)
```

그림 2. VRML파일 구조

VRML파일의 데이터는 그림 2에서와 같이 정점 좌표와 정점들 간의 연결성 정보로 이루어져 있다. 여

기서 point는 메쉬 모델의 정점들을 나타내며 x,y,z 축의 좌표값을 나타낸다. coordIndex는 모델을 이루는 메쉬의 정점들을 나타낸다. 본 논문에서도 워터마크 삽입 모델로 VRML파일의 정점 데이터를 사용하여 워터마크 하였다.

## 4. 제안한 3차원 메쉬 워터마킹 방법

본 논문에서 제안한 워터마킹 방법은 비저각성 및 공격에 강하며 페이스(face)에 관계없이 워터마크를 삽입하기위해, 3차원 메쉬 모델의 정점간 거리를 DCT변환 하여 생성된 계수에 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다.

### 4.1 워터마크 이미지 변환

워터마크 데이터로 삽입할 명암 이미지는 그림 3에서 보여주듯이 DCT 변환 후 생성된 계수를 순차적으로 재배열하여 워터마크를 생성한다.

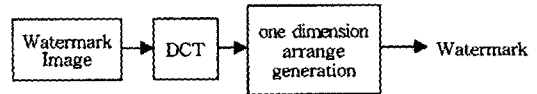


그림 3. 워터마크 생성과정

식(1)은 명암이미지를 DCT변환 후 워터마크의 순차적 재배열 과정을 보여준다.

$$WM = \{w_1, w_2, w_3, \dots, w_0\} \quad (1)$$

### 4.2 워터마크 삽입 방법

제안한 삽입방법은 그림 4에서와 같이 임의의  $V_1$ 에서  $V_2, V_3, V_4$ 의 거리를 구한 후 워터마크를 삽입하여  $V_2, V_3, V_4$ 의 정점이  $V_2', V_3', V_4'$ 로 변경되는 과정을 간단히 보여준다.

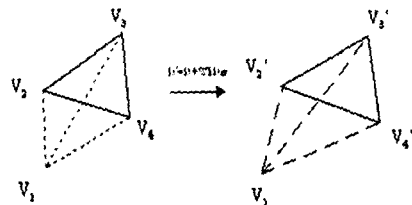


그림 4. 정점 거리를 이용한 워터마크 삽입

식(2)에서는 원본 모델의 정점 정보만을 추출한 후 워터마크가 충분히 삽입 되도록 정점을 집합으로 생성하는 과정을 보여준다.

$$V_N = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\} \quad (2)$$

정점의 집합을 생성시 중복되지 않게 집합을 생성한다. 정점 집합 생성은 워터마크의 지역분할 및 지역패치의 개념으로써 부분적인 공격에 대한 워터마크의 강인성을 보여준다.

3차원 메시 모델의 워터마크는 정점간의 거리 집합을 DCT변환함으로써 좌표 값 자체에 워터마크를 삽입하는 방법보다 비가시성 및 여러 공격에 대한 강인성을 보여준다.

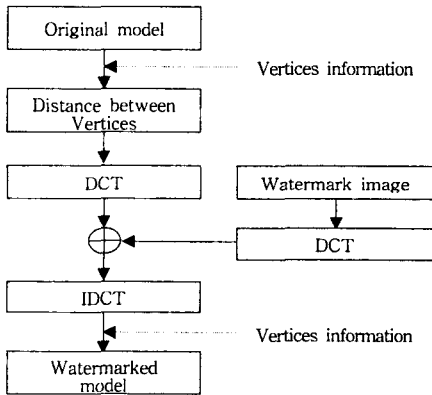


그림 5. 워터마크 삽입 블록도

그림 5는 워터마크 삽입의 전체적인 흐름을 블록도로 나타내고 있다.

$$D = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} \quad (3)$$

식(3)을 이용하여 임의의 정점간의 거리를 이용하여 구해진 거리 집합에 식(4)를 이용하여 DCT변환 후 계수를 생성한다. 생성된 계수에 대해서 워터마크를 삽입한다.

$$DCT: X(k) = \sqrt{\frac{2}{N}} C_k \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cos\left[\frac{(2n+1)k\pi}{2N}\right] \quad (4)$$

$$IDCT: x(n) = \sqrt{\frac{2}{N}} C_k \sum_{k=0}^{N-1} X(k) \cos\left[\frac{(2n-1)k\pi}{2N}\right] \quad (5)$$

여기서,

$$C_k = \begin{cases} 1/\sqrt{2}, & k = 0 \\ 1, & k \neq 0 \end{cases}$$

워터마크는 그레이 이미지를 2차원 DCT변환 후 생성된 계수를 식(6)에서와 같이 거리 간 DCT계수 값에 더하여 삽입하게 된다. 여기서 D는 정점간거리 집합의 DCT계수 값이며 WM은 DCT변환 된 워터마크 정보이다.  $\alpha$ 는 삽입강도( $0 < \alpha < 1$ )로서 삽입강도를 조절하여 워터마크를 삽입한다.

$$D' = D + WM \times \alpha \quad (6)$$

워터마크가 삽입된 계수  $D'$ 을 식(5)를 이용하여 IDCT하여 워터마크가 삽입된 거리 집합을 생성한다. 워터마크가 삽입된 거리를 식(3)을 이용하여 새로운 정점을 생성한다. 정점 생성시 x, y, z축 중 원하는 축으로 좌표 값을 재생성 시킴으로써, 여러 공격 대해서 강인성을 보여준다. 또한 새롭게 생성된 정점 정보를 이용하여 워터마크가 삽입된 3차원 모델을 생성한다.

### 4.3 워터마크 추출 방법

워터마크의 추출은 그림 6에서와 같이 원본모델과 워터마크된 모델에서 정점간 거리를 구한 후 DCT 계수를 생성한다. 생성된 두 계수집합의 차에서 구해진 DCT계수를 IDCT하여 삽입된 워터마크를 추출한다.

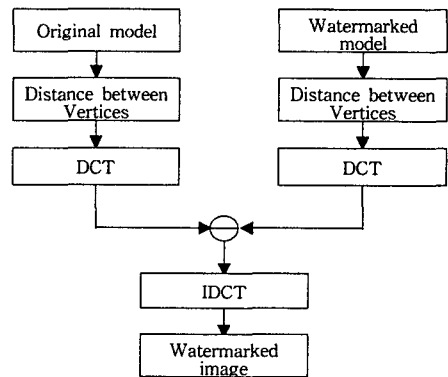


그림 6. 워터마크 추출 블록도

추출된 워터마크는 삽입 시 크기에 맞추어 재정렬하여 워터마크 이미지를 생성한다.

5. 실험결과 및 고찰

정점간 거리를 이용한 3차원 메쉬 모델에 대한 워터마킹의 강인성 및 비가시성 실험을 위해 그림 7과 같이 정점이 1494개인 스텐포드 바니 모델을 사용하였으며, 워터마크는 32 x 32 그레이 이미지의 워터마크를 삽입 시 크기만큼 조절하기 위해서 압축하여 저주파 영역만을 사용하여 실험하였다. 워터마크 삽입후 위의 식(3)을 이용하여 새로운 좌표를 생성 시 x축과 y축은 변환하지 않고 z축에 대해서만 새롭게 생성하여 좌표값을 산출하였다.

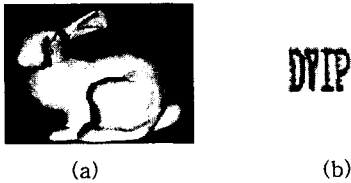


그림 7. 원본모델 및 워터마크  
(a) 원본모델 (b) 워터마크

그림 8은 삽입강도에 따른 3차원 메쉬 모델의 비지각성 실험결과로서 삽입강도  $\alpha=0.01$ 과  $\alpha=0.1$ 의 경우 원본 모델과 차이가 없으며, 삽입강도가 증가함에 따라 비지각성이 떨어지는 것을 알 수 있다.

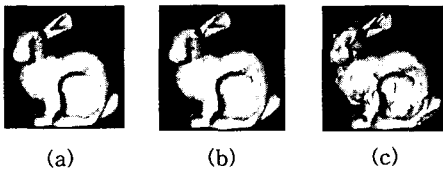


그림 8. 삽입강도에 따른 비지각성  
(a) $\alpha=0.01$  (b) $\alpha=0.1$  (c) $\alpha=0.4$

기하공격에 대한 워터마크 추출결과로서 그림 9는 기하공격에 대한 강인성을 보여준다.



그림 9. 기하공격에 대한 워터마크 추출  
(a) 기하공격 (b) 워터마크

위의 실험결과로서 제안한 워터마킹 방법은 기하공격 및 비지각성에 좋은 결과를 보여준다. 워터마크는 정점간 거리집합의 개수만큼 삽입됨으로써 워터마크의 강인성을 높여준다. 이것은 정점간 거리를 이용함으로 페이스의 모양에 상관없이 삽입 및 추출이 가능하다.

5. 결론

본 논문은 정점간의 거리와 DCT를 이용하여 3차원 메쉬 모델에 워터마킹 한다. 정점간의 거리는 정점의 좌표 값보다 커서 워터마크의 크기에 관계없이 자유롭게 삽입 할 수 있으며 DCT변환을 이용하여 삽입하므로 여러 가지 공격에 강인하며 비지각성에서도 좋은 결과를 보여준다. 그리고 3D 메쉬 모델의 페이스모양에 상관없이 적용할 수 있다.

참고문헌

- [1] 전정희, 호요성, "DCT영역에서 3차원 다각형 메쉬 모델의 디지털 워터마킹 방법" 전자공학회는 문집 제40권, 제3호, 2003.
- [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] S.Kanai, H. Date, and T. Kishinami, "Digital Watermarking for 3-D Polygons Using Multiresolution Wavelet Decomposition," Proceedings sixth IFIP WG 5.2 GEO-6, pp. 296-306,Dec 1998.
- [4] Stollnitz, E.J., EeRose, T.D.and Salesin, D.H. :Wavelets for Computer Graphics: Theory and Applications, Morgan Kaufmann,(1996).
- [5] Francois Cayre,Benoit Macq,"Spatial watermarking of 3D triangle meshes," Proceedings of SPIE, Vol. 4472, pp. 155-166, 2001.