

위치보간기를 이용한 3D 애니메이션 워터마킹

정회원 배 성 호*, 이 석 환**, 준회원 김 정 현*, 정회원 권 기 룡***, 이 응 주****

3D Animation Watermarking Using Position Interpolator

Sung-Ho Bae*, Suk-Hwan Lee** *Regular Members*, Jung-Hyun Kim* *Associate Member*,
Ki-Ryong Kwon***, Eung-Joo Lee**** *Regular Members*

요 약

3D 키프레임 애니메이션은 실시간 애니메이션을 위하여 3D 그래픽스에서 널리 사용되고 있다. 이 방법은 전체 프레임들 중 중요 프레임들 내에 애니메이션되는 키값들을 등록한 후, 등록된 키값들을 이용하여 이외의 프레임들을 보간기에 의하여 생성한다. 본 논문에서는 위치 보간기를 이용한 3D 키프레임 애니메이션 워터마킹 기법을 제안한다. 제안한 방법에서는 계층적인 구조 상에서 부분 모델로 이루어진 변환 노드들을 임의로 선택한 후, 선택된 변환 노드 내의 위치 보간기의 키값에 워터마크를 삽입한다. 실험결과로부터 제안한 방법이 기하학적 및 타임라인 공격에 대하여 견고성을 가짐을 확인하였다.

Key Words : 3D Keyframe Animation, Watermarking, Position Interpolator

ABSTRACT

3D keyframe animation is used widely in 3D graphics for real-time animation. This is a method that registers the animated key values in the important several frames among the entire frames and generates the rest frame by interpolator using the registered key values. This paper proposed the watermarking for 3D keyframe animation using PositionInterpolator. The proposed algorithm selects randomly the embedding meshes, which are transform nodes among the entire hierarchical structure. Then the watermark is embedded into keyValues of PositionInterpolator in selected transform node. Experimental results verified that the proposed algorithm has the robustness against geometrical attacks and timeline attacks.

I. 서 론

저작권 보호 및 불법 복제 추적을 위한 워터마킹 및 팽거프린팅 기술들은 오디오, 정지영상 및 비디오 등의 디지털 콘텐츠에 대하여 많이 적용되고 연구되어 왔다. 최근 웹 상에서는 2D 영상뿐만 아니라 웹 3D 기술에 의하여 구현된 3D 그래픽 모델의 콘텐츠 제작에 대한 많은 관심과 더불어, 3D 그래픽

모델에 대한 워터마킹 기술이 매우 중요한 연구 분야로 부각되고 있다. 국제 표준 기구인 ISO/IEC는 웹 상에서 3D 그래픽 모델을 구현하는 표준으로 가상 현실 언어(virtual reality modeling language, VRML)^[1]를 공인하였다. 그러나 VRML은 소스 자체가 공개되어 있고 라이선스를 요구하지 않으므로 웹 상에서 불법 복제, 편집 및 분배가 용이함으로써 VRML로 구현된 3D 그래픽 모델의 저작권을 보호

※ 본 논문은 2006년도 SK Telecom 재원으로 설립된 동명대학교 SKTU차세대통신기술 연구소 학술연구비 지원에 의하여 이루어진 것임(SKTU-06-003).

* 동명대학교 멀티미디어공학과 (baesh@tu.ac.kr), ** 동명대학교 정보보호학과 (skylee@tu.ac.kr)

*** 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 (krkwon@pknu.ac.kr), **** 동명대학교 정보통신공학과 (ejlee@tu.ac.kr)

논문번호 : KICS2007-01-005, 접수일자 : 2007년 1월 5일, 최종논문접수일자 : 2007년 3월 10일

하기 위한 워터마킹 연구가 최근에 들어서 진행되고 있다.

3차원 모델에 대한 워터마킹은 1차원이나 2차원 워터마킹 방법과 마찬가지로 워터마크 신호의 강인성(robustness)과 비가시성(imperceptibility) 그리고 수용량(capacity)을 고려해야 한다. 그러나 1차원이나 2차원 워터마킹 방법과 달리, 삽입하려는 워터마크 신호의 목표가 화소값이나 음성 신호가 아니라, 꼭지점의 좌표값, 법선 벡터, 또는 표면 색상 등과 같이 기하학적 요소(geometry components)가 된다. Ohbuchi 등^[2] 3차원 메쉬 모델에 대한 워터마킹 방법을 최초로 제안하였다. 이 방법은 기하요소나 위상(topology) 요소들을 변경하는 TSQ(Triangle Similarity Quadruple Embedding), TVR(Tetrahedral Volume Ratio Embedding), 그리고 MDP(Mesh Density Pattern Embedding)라는 방법을 사용하여 문자열과 패턴을 공간영역에서 은닉한다. 또한 이들은 메쉬의 연결성 정보를 이용해 Kirchoff 행렬을 만든 다음, 고유벡터(eigenvector)와 고유치(eigenvalue)를 구한 후, 각 꼭지점 좌표를 정규화된 고유벡터 집합으로 투영시켜 주파수 영역(spectral domain)으로 변환시킨 다음, 워터마크 신호를 삽입하는 방법을 제안하였다^[3]. Kanai 등^[4]은 3차원 메쉬 모델을 다중해상도로 표현하기 위한 웨이블릿(wavelet) 계수에 워터마크 신호를 삽입하는 방법을 제안하였다. Praun 등^[5]은 기존 방법에서 흔히 사용되는 확산 스펙트럼(spread spectrum) 기술을 3차원 메쉬 모델에 적용한 삼각형 메쉬 워터마킹 방법을 제안하였다. Lee 등^[6]은 3D 메쉬 모델을 여러 개의 패치로 분할하여 각 패치의 CEGI(Complex Extended Gaussian Image) 상에서 가중치 크기가 큰 셀에 워터마크 비트열을 각각 삽입하는 방법을 제안하였다. 그러나 이들 방법들은 3D 그래픽의 정지 모델에 대한 워터마킹 기법으로서, 3D 애니메이션에는 적용되지 못하다.

최근 그래픽 하드웨어의 성능이 향상되면서 보다 자연스럽게 사실적인 3D 이미지를 실시간으로 렌더링할 수 있게 되었다. 따라서 3D 컴퓨터 애니메이션은 3D 모델의 사실적인 표현에 있어서 매우 중요한 요소이며, 실시간 3D 애플리케이션, 3D 애니메이션 영화, 및 3D 컴퓨터 게임에 있어서 필수 요소가 되었다. 그러나 현재 국내에 유통되는 3D 캐릭터 애니메이션의 불법 복제로 인하여 캐릭터 개발업체 및 제조업체가 피해를 입고 있다. 따라서 3D 컴퓨터 애니메이션의 저작권을 보호하는 기술이 매우 절실히 요구되고 있으나, 이에 대한 연구가 매우

미비하다. 3D 그래픽에서 애니메이션은 3D 공간 상에서 메쉬 또는 텍스처 등을 포함하는 움직이는 물체로 정의된다. 3D 그래픽에서 널리 사용되는 애니메이션 기법으로는 꼭지점 애니메이션, 계층적 애니메이션, 뼈대 기반 애니메이션, 스키닝, 역운동학 그리고, 실시간 애니메이션을 위하여 이 기법들을 적용한 키 프레임 애니메이션이 있다. 본 논문에서는 3D 컴퓨터 애니메이션의 저작권을 보호하기 위해 3D 그래픽 상에서 널리 이용되고 있는 키 프레임 애니메이션에 대한 워터마킹 기술을 제안한다.

본 논문에서는 3D 그래픽 모델의 저작권 보호가 아닌 실시간 애니메이션을 위한 VRML 기반의 3D 애니메이션 상에서 위치 보간기 노드 내에 키 값을 이용한 보간기 워터마킹 기법을 제안한다. 제안한 방법에서는 임의의 선택된 변환 노드 상의 위치보간기 노드 내에 x, y, z 성분의 키값을 4개의 타임영역으로 등분한다. 그리고 각 등분된 영역 내에 각 성분의 기울기값 분포를 이용하여 워터마크를 한 비트씩 삽입한다. 실험 결과로부터 구부림, 점감, 잡음 등과 같은 각종 기하학적 공격 및 프레임 수 증가, 감소 등 타임라인 공격에 대하여 워터마크가 70~80% 이상 오류 없이 검출함을 확인하였다.

본 논문의 구성을 살펴보면, 2장에서는 3D 그래픽 모델을 구현하는 VRML 데이터에 대하여 살펴보고, 3장에서는 제안한 3D 애니메이션을 위한 워터마킹 기법을 설명한다. 그리고 4장에서는 제안한 기법의 성능 평가를 보여주고 마지막으로 본 연구의 결론을 맺는다.

II. VRML 애니메이션

본 장에서는 VRML / MPEG-4 BIFS (Binary Format for Scenes)^{[9],[10]} 기반의 3D 애니메이션 대하여 살펴보기로 한다. VRML은 인터넷에서 3차원 가상환경을 표현하기 위한 언어이다. 이 언어의 특징으로는 구, 육면체, 원뿔 등의 기본적인 입체 도형을 이용하거나 복잡한 3차원 오브젝트 모델링이 가능하고 애니메이션과 사운드 삽입이 가능하다는 것이다. 그리고 사용자와의 상호작용을 지원함으로써 가상현실의 구현을 가능케 한다. 또한, 웹을 기반으로 하고 다중 사용자 환경을 지원하며 빠른 전송을 위해서 아스키 파일 형태로 되어 있다.

2.1 데이터 구조

VRML/MPEG-4 BIFS 기반의 애니메이션 데이터

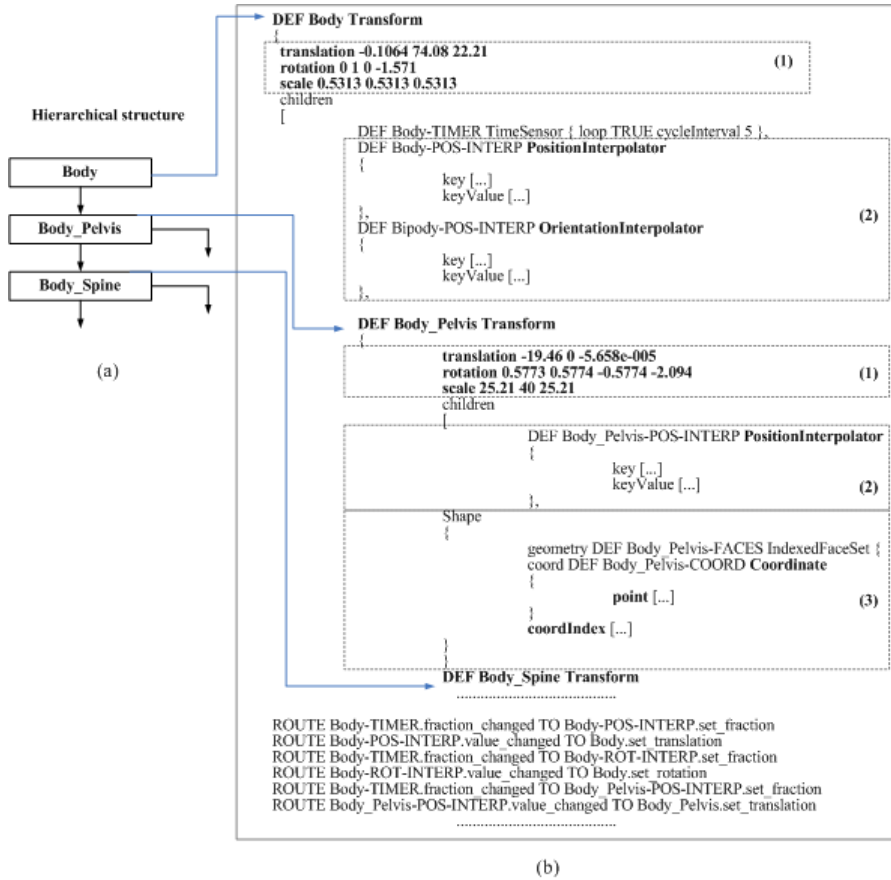


그림 1. VRML 애니메이션 파일 상에서 (a) 계층 구조 및 (b) 계층 구조로 이루어진 변환 노드의 구조

에서는 그림 1에서와 같이 여러 개의 변환 노드들이 부모 자식 관계의 계층적 구조로 구성되어 있다. 즉 애니메이션의 모델을 여러 개의 관절체들로 나눈 후, 이들을 부모-자식 관계로 상속하여 계층적 구조로 구성한다. 각 변환 노드들은 그림 1 (b)에서와 같이 하나의 관절체를 나타내며, 이들은 실좌표계 (real coordinate system)에 대한 지역좌표계 (Local coordinate system)를 나타내는 이동, 회전 및 스케일의 변환 노드 행렬 (transform node matrix), 6개의 보간기 노드들 (interpolator node) 그리고 꼭지점 좌표와 연결성 정보로 이루어진 IndexedFaceSet 노드들에 의하여 정의되어진다. 따라서 VRML 기반의 애니메이션 데이터에 워터마크를 삽입하기 위한 대상체로는 그림 1의 (b)에서 보는바와 같이 (1) 변환 행렬, (2) 보간기 노드 및 (3) IndexedFaceSet 노드들이 있다. 제한한 방법에서는 애니메이션 데이터의 움직임 정보를 가지는 보간기

노드에 워터마크를 삽입한다.

2.2 보간기(Interpolator)

VRML에서는 보간기 노드를 이용하여 애니메이션 객체를 제공하며, 미리 정의된 애니메이션을 제작할 수 있도록 한다. 보간기는 애니메이션에서 대상이 무엇이 되었든 시작과 마지막을 정의하면 그 사이의 중간 값을 구해 주는 것으로, 보통 TimeSensor와 결합하여 사용된다. TimeSensor는 사용자의 선택에 의해 이벤트를 발생시키는 것이 아니라 정해진 시간에 따라 자동으로 일정한 값의 이벤트를 발생시킨다. 따라서 TimeSensor에 연결된 객체들은 자동으로 움직일 수 있고, VRML에서는 이러한 TimeSensor를 제공함으로써 스스로 움직이는 애니메이션을 표현할 수 있도록 지원한다. 그러나 TimeSensor는 정해진 타이머에 따라 일정 형태의 값 (0부터 1 사이의 값)을 발생할 뿐이다. 이것

은 물체가 움직이도록 동기를 부여하는 것에 지나지 않는다. 어떻게, 어떤 방식으로 움직일 것인지 가는 보간기 노드에서 정해진다. VRML에서는 선형 키프레임 애니메이션으로 설계된 색상 보간기 (Color Interpolator), 좌표 보간기 (Coordinate Interpolator), 법선 보간기 (Normal Interpolator), 방향 보간기 (Orientation Interpolator), 위치 보간기 (Position Interpolator) 및 스칼라 보간기 (Scalar Interpolator)의 노드들이 있으며, 각 노드들은 사용자에 따라 다양하게 적용된다. 이들은 각 분할된 시간동안 (eventIn) 보간 노드로 보내어지는 이벤트 (eventOut)를 TimeSensor에 의하여 생성함으로써 애니메이션을 조정한다. 즉, 보간기의 키 값 (exposedField)이 바뀔 때마다 한 이벤트는 위치, 방향 또는 색상 등과 같은 속성을 변경하기 위하여 다른 보간기로 보내어진다.

위치 보간기 노드는 키 별로 각 메쉬 모델의 위치를 나타내므로 간단한 키 프레임 애니메이션을 매우 용이하게 구현할 수 있다. 위치 보간기는 한 물체의 위치를 나타내는 키 값들 사이를 선형적으로 보간한다. 임의의 키에 대한 키 값은 직각 좌표계 상에서의 좌표(x,y,z)를 나타내는 벡터이다. 키 값들은 물체의 위치를 나타낼 뿐만 아니라, 물체의 속도를 조절할 수 있다. 즉, 키 값들 사이의 간격을 일정하게 유지하면 물체는 일정한 속도로 움직이게 된다. 그림 2는 4개의 키와 키 값들로 구성된 위치 보간기 노드의 예를 나타낸다. 이 예제를 살펴보면, 한 물체가 x 축 상으로 0.3 키 타임에 3만큼 오른쪽으로 이동한 후 0.6 키 타임에 -3만큼 왼쪽으로 이동한 다음 원점으로 되돌아온다. 이 때 0.3-0.6 키 타임 동안 물체의 움직임 속도가 그 이외의 키 타임에 비하여 빠름을 알 수 있다.

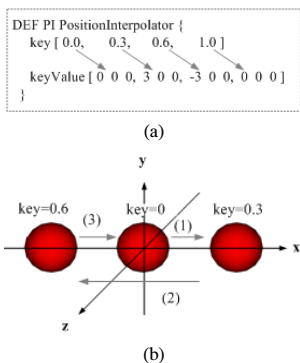


그림 2. (a) 위치 보간기 노드의 예 및 (b) (a) 노드에 대한 구의 움직임

III. 제안한 3D 애니메이션 워터마킹

VRML 기반의 애니메이션은 여러 개의 메쉬들이 계층적인 구조로 이루어져 있고 각 메쉬는 하나의 변환 노드를 가진다. 그리고 VRML은 보간기라는 애니메이션 객체를 제공하여 미리 정의된 애니메이션을 제작할 수 있도록 한다. 보간기는 각 분할된 시간동안 보간 노드로 보내어지는 이벤트를 TimeSensor에 의하여 생성함으로써 애니메이션을 조정한다. 우선 제안하는 알고리즘은 그림 3에서와 같이 전체 계층적인 구조에서 워터마크를 삽입하기 위한 변환 노드를 임의로 선택한다. 그 다음 선택된 변환 노드에 위치 정보와 관련된 위치 보간기 노드의 각 키 시간에서 물체의 운동 위치를 나타내는 키 값에 워터마크를 삽입한다.

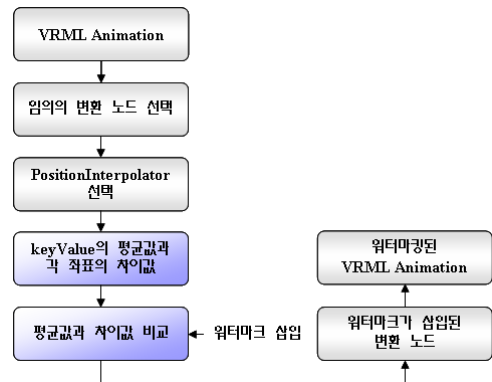


그림 3. VRML 기반의 3D 애니메이션에 제안한 워터마크 삽입 과정

3.1 워터마크 삽입

위치 보간기 노드는 3D 좌표, 오브젝트의 3D 모션 위치를 나타내는 키 시간의 변화와 키 시간에 따른 키 값들로 구성된다. 이때 키 값은 3D 각각 좌표계의 (x,y,z) 로 나타낸다. 제안하는 방법에서는 계층적인 구조로 이루어진 변환 노드 중에서 위치 보간기를 가지는 변환 노드를 랜덤하게 선택한다. 그리고 선택된 변환 노드 상에서 위치 보간기 노드 내에 키 값의 각 성분에 이진 워터마크 비트를 각각 삽입한다.

그림 4는 Owl 애니메이션 모델 내에 luleg 변환 노드에서 키 타임에 따른 위치 보간기의 (x,y,z) 성분을 보여주고 있다. 이 그림에서 보는 것 같이 x 의 좌표는 키 타임 0-0.4 동안에는 변화가 거의 없다가 키 타임 0.4부터 큰 변화가 있다. 이와 반대로 z의 좌표는 키 타임 0.4 동안에는 큰 변화가 있다

가 키 타임 0.4부터 변화가 거의 없다. y 좌표는 x,z 좌표에 비하여 변화가 매우 작다. 좌표 성분이 키 타임동안 변화가 있는 것은 그 위치의 속도가 빠르게 변함을 나타낸다. 제안한 방법에서는 위치 보간기 노드 내에 좌표의 변화를 가지는 구성 성분 내에 워터마크를 삽입한다.

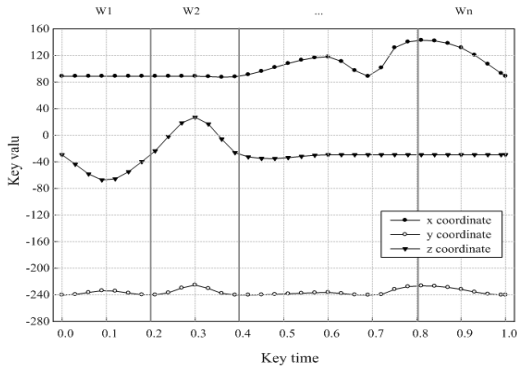


그림 4. 3D MAX에서 제공된 Owl 애니메이션의 luleg 변환 노드 상에서 35개의 키 값을 가지는 위치 보간기

우선 k 번째 선택된 위치 보간기 노드 P_k 의 키 타임을 n 등분한 후, 등분된 영역 $[W_1, W_2, W_3, W_4]$ ($W_i = [(i-1)/n, i/n]$) 내에 아래와 같은 방법으로 워터마크 비트 $w_k = \{w_i | i \in [1, n]\}$ 를 각각 삽입한다. N 개의 위치 보간기 노드를 선택할 경우, 삽입되는 워터마크 비트수는 $w_k \times N$ 이다. 그림 4를 살펴보면, 위치 보간기 노드의 키 타임의 개수는 35개이며, 각 키 타임 k 은 $[0, 1]$ 범위 내에 있다. 이외의 키 타임은 선형 보간기에 의하여 생성된다.

임의의 i 번째 등분된 영역 $W_i = [(i-1)/n, i/n]$ 내에서 x, y, z 축의 키값의 기울기 dx, dy, dz 와

$$\begin{aligned} dx_t &= \left| \frac{x_t - x_{t-1}}{k_t - k_{t-1}} \right|, \\ dy_t &= \left| \frac{y_t - y_{t-1}}{k_t - k_{t-1}} \right|, \\ dz_t &= \left| \frac{z_t - z_{t-1}}{k_t - k_{t-1}} \right| \end{aligned} \quad (1)$$

where $\frac{i-1}{n} \leq k < \frac{i}{n}$

와 기울기의 평균 $E_x[dx], E_y[dy], E_z[dz]$ 을 각각 구한다. 이들 평균 기울기의 최대인 성분을 워터마크 삽입 대상으로 선택한다.

i 번째 워터마크 비트 w_i 는 i 번째 구간의 성분 기

울기의 평균 E_i 이 전체 기울기 평균 $\bar{E} = \sum_{i=1}^n E_i/n$ 와 비교하여 E_i 에 삽입한다. 즉, w_i 가 1이면 E_i 가 \bar{E} 보다 크게 하고, w_i 가 0이면 E_i 가 \bar{E} 보다 작게 한다. 이를 정리하면

$$\begin{aligned} E'_i &= E_i + \alpha(2w_i - 1)\bar{E} \\ &= \sum_{t=1}^n \left| \frac{q_t - q_{t-1}}{k_t - k_{t-1}} \right| + \alpha(2w_i - 1)\bar{E} \end{aligned} \quad (2)$$

과 같다. 여기서 q 는 x와 y 및 z 키값들 중 선택된 성분의 키값을 나타낸다. 그리고 삽입 강도 α 는 위치의 삽입 조건을 만족하기 위하여 $\alpha > (\bar{E} - E_i)/\bar{E}(2w_i - 1)$ 이어야 한다. 따라서 제안한 방법에서는 비가시성을 고려하여 실험적으로 α 를 $1.2 \times (\bar{E} - E_i)/\bar{E}(2w_i - 1)$ 으로 결정하였다. 여기서 E_i 가 워터마크 비트에 따라 변경되기 위하여 각 성분의 기울기 값들이 변경되어야 한다. 식 (2)에서 각 성분의 기울기 값들을

$$\left| \frac{q'_t - q_{t-1}}{k_t - k_{t-1}} \right| = \left| \frac{q_t - q_{t-1}}{k_t - k_{t-1}} \right| + \alpha(2w_i - 1)\bar{E}, \quad k_t > k_{t-1} \quad (3)$$

로 놓으면, t 동안의 변경되어야 할 키값 q'_t 는

$$q'_t = q_{t-1} \pm \left(\left| \frac{q_t - q_{t-1}}{k_t - k_{t-1}} \right| + \alpha(2w_i - 1)(k_t - k_{t-1})\bar{E} \right) \quad (4)$$

의 두 값들 중 원래의 키값 q_t 와의 차이가 작은 값이다. 워터마크 비트가 삽입되면 각 부분별로 각 좌표의 하나의 키값이 변하는 게 아니라 전체적으로 라인의 변화가 생기기 때문에 좌표의 모든 키값들이 삽입된 비트의 영향을 받게 된다. 워터마크를 추출하기 위하여 선택된 위치 보간기 노드의 인덱스와 기울기 성분의 평균값 \bar{E} 들이 저장된다.

$n \times N$ 길이를 가지는 워터마크 비트는 그림 5에서와 같이 N 개 선택된 위치 보간기 노드의 n 개의 영역 내에 각각 삽입된다. 위치 보간기 노드 내에 영역 개수는 임의로 정할 수 있으며, 워터마크 비트의 길이가 n 의 배수가 아닐 경우 노드 내에 영역 개수를 변경할 수 있다.

3.2 워터마크 추출

워터마크 추출 과정은 삽입과 동일한 과정으로

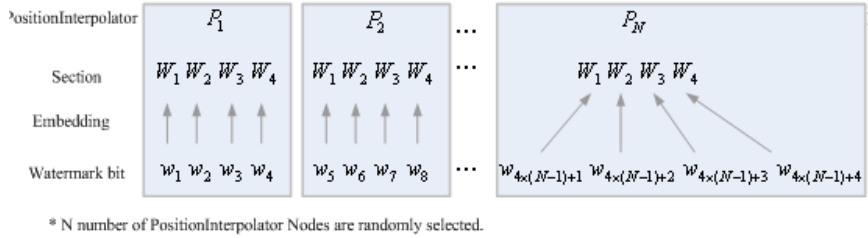


그림 5. N개 선택된 위치보간기 노드에 워터마크 삽입(n=4)

진행이 된다. 삽입된 워터마크 비트는 삽입된 위치 보간기 노드의 인덱스와 위치 보간기 내의 평균 기울기 \bar{E} 에 의하여 추출된다. 먼저 워터마크가 삽입된 애니메이션에 여러 공격을 수행한다. 이때 애니메이션의 전역 좌표계가 변경될 경우, 회전, 이동, 스케일을 이용하여 이전의 좌표계로 변환한다. 그리고 워터마크가 삽입된 위치 보간기 노드 내의 각 영역 내에 기울기 평균 $\bar{E}'_{i \in [1, n]}$ 를 구한 후, 이를 저장된 전체 기울기 평균 \bar{E} 와 비교하여 워터마크를

$$\begin{cases} w_i = 1, & \text{if } E'_i > \bar{E} \\ w_i = 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

과 같이 추출한다. 각 위치 보간기 노드의 키값 내에 삽입된 워터마크의 총 비트 중에서 각 부분별로 삽입된 비트들을 추출하고 추출된 비트와 삽입한 비트를 비교하여 오류를 검출한다.

IV. 실험결과

본 논문에서 제안한 방법의 성능 평가를 위하여 3DS-MAX 테스트 애니메이션으로 제공하는 Wailer, Owl 및 Bomb를 VRML 데이터로 변환하여 이를 테스트 모델로 사용하였다. 이들 모델의 첫 번째 프레임은 그림 6과 같다. Wailer는 76개, Bomb은 9개, Owl은 7개의 위치 보간기 노드들을 가지고 있다. 이들 애니메이션 데이터들은 각각 100개의 프레임들로 구성되어 있고, 각 변환 노드 내에 키는 [0, 1] 사이에 다양한 개수들로 이루어져 있다. 본 실험에서는 표 1과 같이 Wailer는 25개의 위치 보간기 노드들을 선택하여 100비트의 워터마크를 4비트씩 각 위치 보간기 노드의 키값에 삽입하였고, Bomb와 Owl은 9개와 7개의 위치 보간기 노드들 내에 각각 36비트 및 28비트씩 삽입하였다. 본 실험에 사용한 실험 평가 척도로는 3D 애니메이션 공

격에 대한 견고성 및 워터마크의 비가시성이다.

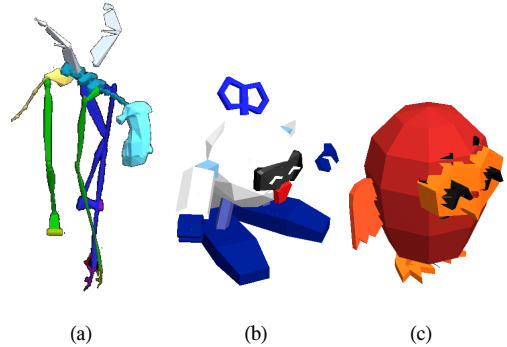


그림 6. (a) Wailer, (b) Bomb, (c) Owl 애니메이션 모델의 첫 번째 프레임

표 1. 테스트 모델의 변환 노드 수 및 PSNR

Test model	Number of PositionInterpolator node	Watermark bit	PSNR
Wailer	104	100	40.29
Bomb	9	36	39.31
Owl	7	28	38.59

4.1 비가시성

본 실험에서는 간단한 비가시성의 화질 척도로 위치 보간기 노드의 키값들에 대한 APSNR (average peak signal-to-noise ratio)을 사용하였다. 즉, APSNR은 워터마크가 삽입된 위치 보간기 노드 내에 키값의 평균 PSNR이다. $PSNR_i$ 은 i 번째 위치 보간기 내에 원래의 성분 q_i 와 터마크된 성분 q'_i 와

$$\begin{aligned} APSNR &= \sum_{i=1}^N PSNR_i \\ &= \sum_{i=1}^N (10 \log_{10} \frac{MAX_i}{\sum_{j=1}^N (w_{ij} - w'_{ij})^2}) / N \end{aligned} \quad (6)$$

의 PSNR이다. 제안한 방법에 의하여 워터마크가 삽입된 위치 보간기 노드 키값에 대한 APSNR은 약 38.59~40.29[dB]이다. 이는 객관적 화질 척도로 우수한 비가시성을 가지고 있다고 판단된다. 워터마크가 삽입된 Wailer와 Bomb 및 Owl 애니메이션의 첫번째 프레임은 그림 7과 같으며, 워터마크가 비가시적으로 삽입됨을 알 수 있다.

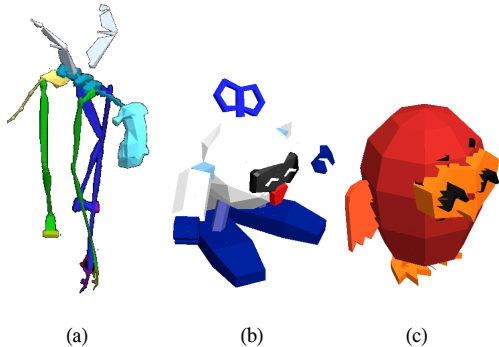


그림 7. (a) Wailer, (b) Bomb, (c) Owl 워터마크가 삽입된 애니메이션 모델의 첫 번째 프레임

4.2 견고성

3DS-MAX와 Maya 등 3D 애니메이션을 편집할 수 있는 범용 도구들이 많이 개발되고 있다. 본 논문에서는 범용 도구들 상에서 사용되는 기능을 크게 기하학적 공격, 타임라인 공격으로 분류하여 이를 견고성 실험에 사용하였다. 기하학적 공격은 IndexFaceSet 노드 상에 꼭지점 좌표 또는 연결 정보를 바꾸는 것으로 구부림(Bend), 점감(Taper), 잡음, 패치 변형(Patch Deform), 메쉬 뭉뚱화(Mesh smooth), HSDS 변경, 다각형 절단(cutting)/분배(divider)/분출(extrude), 꼭지점 제거, 회전, 스케일링, 이동 등이 대표적 기하학적 공격이다. 타임라인 공격은 타임 축 또는 키의 수를 확장 및 축소하는 것이다. 본 실험에서는 3DS-MAX 툴을 이용하여 기하학적 공격 및 타임 라인 공격에 대한 견고성 성능을 평가하였다.

4.2.1 기하학적 공격

워터마크를 삽입한 애니메이션의 모든 변환 노드 상에서는 여러 가지 기하학적 공격에 의하여 편집 되어질 수 있다. 표 2는 다양한 기하학적 공격에 대한 견고성의 실험 결과를 나타내었다. 구부림(Bend)은 모델의 원하는 영역에 구부리는 각도와 축의 방향을 설정하여 애니메이션의 모델을 구부린다. 구부림의 매개 변수는 angle과 direction 및

표 2. 기하학적 공격에 대한 견고성 실험 결과

공격	변수	BER(Bit Error Rate)		
		Wailer	Owl	Bomb
구부림 (Bend)	(70,15,z)	0.08	0.07	0.07
점감 (Taper)	(1.5,0.4,z,xy)	0.07	0.08	0.10
잡음	(30,200,1,10,2.5,2.5)	0.04	0.02	0.03
메쉬 뭉뚱화 (Mesh Smooth)	(1,1.0)	0.06	0.06	0.07
다각형 절단 (Polygon Cutting)	40%	0.26	0.30	0.29
다각형 분출 (Polygon Extrude)	50%	0.20	0.25	0.24

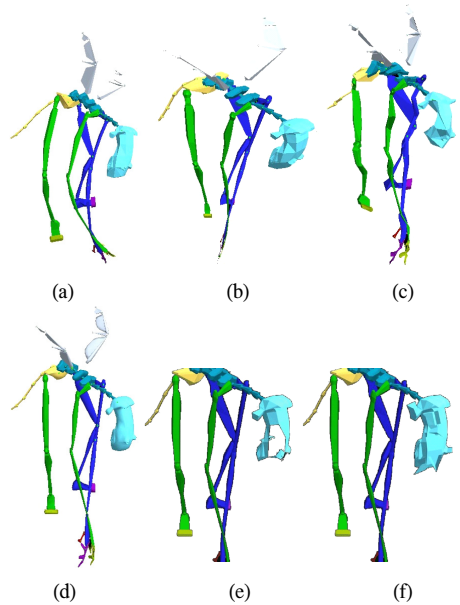


그림 8. 모든 변환 노드 상에서 (a) 구부림 (b) 점감 (c) 잡음 (d) 메쉬 뭉뚱화 (e) 다각형 절단 (f) 다각형 분출의 기하학적 공격이 가해진 워터마크된 Wailer

bend axis로 하였으며, 구부림 공격 실험에서 임의의 변수 (70, 15, z)에 의하여 구부린 후 추출된 워터마크의 BER(Bit Error Rate)은 0.07~0.08 이다. 구부러진 Wailer와 Owl 및 Bomb 모델은 그림 8과 그림 9 및 그림 10의 (a)에 나타내었다. 점감(Tapper)은 amount, curve, primary 및 effect의 변수에 의하여 점감 축을 기준으로 모델을 볼록 또는 오목 형태로 만든다. (1.5, 0.4, z, xy)에 의하여 점감된 Wailer와 Owl 및 Bomb은 그림 8과 그림 9 및 그림 10의 (b)와 같으며, 추출된 워터마크의 BER은 0.07~0.10 이다. 잡음은 seed, scale, rough-

ness, iteration 및 strength of x, y, z 변수에 의하여 애니메이션 모델의 형상을 불규칙하게 만든다. (30, 200, 1, 10, 2.5, 2, 1.5)에 의하여 잡음이 첨가된 Wailer, Owl 및 Bomb은 그림 8과 그림 9 및 그림 10의 (c)와 같으며, 추출된 워터마크의 BER은 0.02~0.04이다. 메쉬 뽕뽕화(Mesh Smooth)는 iteration과 smoothness 변수에 의하여 애니메이션 모델의 형상을 부드럽게 만들어 준다. (1, 1.0)으로 메쉬 뽕뽕화된 Wailer, Owl 및 Bomb은 그림 8과 그림 9 및 그림 10의 (d)와 같으며, 추출된 워터마크의 BER은 0.06~0.07 이다. 임의의 변환 노드 상에서 40~50[%] 정도의 다각형 분출 및 절단한 Wailer와 Owl 및 Bomb은 그림 8과 그림 9 및 그림 10의 (f)와 같으며, 추출된 워터마크의 BER은 0.20~0.30 이다.

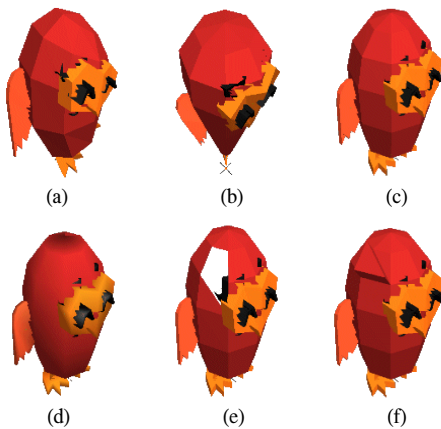


그림 9. 모든 변환 노드 상에서 (a) 구부림 (b) 점감 (c) 잡음 (d) 메쉬 뽕뽕화 (e) 다각형 절단 (f) 다각형 분출의 기하학적 공격이 가해진 워터마크된 Owl

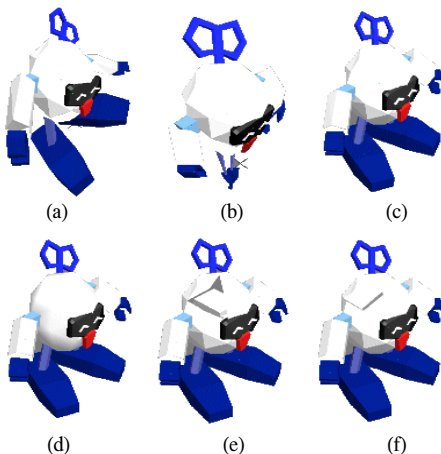


그림 10. 모든 변환 노드 상에서 (a) 구부림 (b) 점감 (c) 잡음 (d) 메쉬 뽕뽕화 (e) 다각형 절단 (f) 다각형 분출의 기하학적 공격이 가해진 워터마크된 Bomb

4.2.2 타임라인 공격

표 3. 타임라인 공격에 대한 견고성 실험 결과

공격	변수	BER(Bit Error Rate)		
		Wailer	Owl	Bomb
프레임수 감소	50 frame	0.16	0.20	0.17
프레임수 증가	200 frame	0.0	0.0	0.0

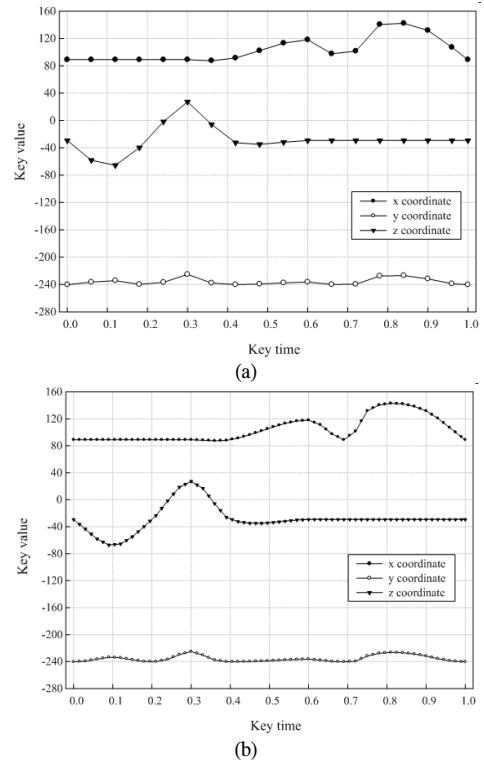


그림 11. (a) 18개 및 (b) 68개의 키를 가지는 Owl 애니메이션의 luleg 변환 노드의 위치 보간기 노드 내에 x, y, z 성분

타임라인 공격된 애니메이션에서는 보간기의 키와 키값이 바뀌어 진다. Re-scale 타임에서는 프레임 수와 함께 타임 길이를 조정한다. 애니메이션 타임이 원래의 타임 길이에 비하여 반으로 감소하면, 그림 11의 (a)와 같이 보간기의 키 수가 반으로 감소되며, 키가 [0 1] 내에 재정렬된다. 제한한 워터마크 추출 방법에서는 워터마크 삽입 과정에서 저장된 타임라인 상의 기준점에 의하여 워터마크를 추출한다. 그러나 키의 수가 줄어든 변환 노드의 위치 보간기 상에서는 몇몇 기준점들이 없어질 수 있다. 제한한 방법에서는 이들 없어진 기준점들을 주위의 존재하는 기준점들의 보간에 의하여 생성하는 전처리 과정을 수행한 후 워터마크를 추출한다. 키 수가 반으로 줄어든 애니메이션 상에서 추출된 워

터마크의 BER은 표 3과 같이 0.16~0.20 이다. 애니메이션 타임이 원래의 타임 길이보다 두 배로 확장된 위치 보간기 노드의 각 성분들은 그림 11의 (b)와 같다. 이 때 워터마크 추출을 위한 기준점들이 모두 존재하므로, 전처리 과정이 필요 없으며 표 3에서와 같이 워터마크가 오류 없이 추출된다. 이상과 같이 제안한 방법에서는 70-80% 이상의 워터마크 검출율을 보이고 있다. 이는 이진 영상 또는 문자의 이진 코드를 삽입시 가지적으로 워터마크의 유효성을 확인할 수 있는 검출율이다. 따라서 제안한 3D 애니메이션 워터마킹 기법은 3D 그래픽스 상에서의 3D 캐릭터 생성, 온라인/오프라인 상에서의 3D 게임 콘텐츠, 그리고 모바일 3D 게임 콘텐츠 등에 이진 영상, 문자의 이진 코드, 또는 랜덤이진코드 등으로 구성된 워터마크를 삽입함으로써 저작권을 보호할 수 있다.

V. 결론

VRML 기반의 3D 키 프레임 애니메이션은 계층 구조상에서 각 메쉬 모델의 변환 노드, 변환 노드 상에서의 보간기 내에 키 또는 키값, 그리고 coordIndex 노드의 기하학적 정점으로 구성되어 있다. 본 논문에서는 기존의 3D 메쉬 모델을 위한 워터마킹 기법이 아닌 애니메이션을 위한 중요 요소 중 하나인 보간기를 이용하였고, 그 중에서 위치 보간기 노드 내의 키값을 이용한 보간기 워터마킹 기법을 제안하였다. 임의의 선택된 변환 노드 내의 위치 보간기 노드 내에 키값의 x, y, z 성분을 여러 개의 타임으로 등분한 후, 등분된 영역의 위치 정보를 가지는 좌표값인 키값에 각 좌표별 범위의 차이를 이용하여 워터마크 비트를 각각 삽입하였다. 실험 결과로부터 구부림, 점감, 잡음 등과 같은 각종 기하학적 공격 및 프레임 수 증가, 감소 등 타임라인 공격에 대하여 워터마크가 70~80[%] 이상 오류 없이 검출함을 확인하였다.

본 논문에서 제안한 워터마킹 기법은 일반 3D 애니메이션에 대한 기법을 제안하였다. 현재 모바일 3D 엔진의 발달과 함께 일반 3D 애니메이션 모델 저작 도구에서 제작한 3D 모델을 플러그 인 기능을 통해 모바일 상에서 사용할 수 있다. 향후 연구 과제는 본 논문에서 제안하는 방법을 통합하여 모바일 환경에 맞는 3D 모델을 제작하여, 제작된 모델과 애니메이션에 워터마크를 삽입한 후 워터마크를 삽입한 모델을 플러그 인 기능을 통해 모바일 3D

환경에 적용하는 것이다. 모바일 3D 환경에서의 다양한 공격 패턴을 추가하여 실험을 하고 실험 결과의 효율성을 위하여 플러그 인 기능을 통해 일반 PC 환경에서 워터마크 추출 시의 결과를 확인할 수 있는 방법을 모색하여야 한다. 그리고 여기에 따른 워터마킹 기법을 제안하고 실험을 통해 증명해야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] ISO/IEC 14772-1, The virtual reality modeling language.
- [2] R. Ohbuchi, H. Masuda, and M. Aono, "Watermarking Three-Dimensional Polygonal Models Through Geometric and Topological Modification," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 16, no. 4, pp. 551-560, May 1998.
- [3] R. Ohbuchi, S. Takahashi, T. Miyazawa, and A. Mukaiyama, "Watermarking 3D polygonal meshes in the mesh spectral domain," *Proc. of Graphics Interface*, pp. 9-17, 2001.
- [4] S. Kanai, H. Date, and T. Kishinami, "Digital watermarking for 3D polygons using multiresolution wavelet decomposition," *Proc. of Sixth IFIP WG 5.2 GEO-6*, pp. 296-307, Dec. 1998.
- [5] E. Praun, H. Hoppe, and A. Finkelstein, "Robust mesh watermarking," *Proc. of ACM SIGGRAPH*, pp. 49-56, Aug. 1999.
- [6] J.-W. Lee, S.-H. Lee, K.-R. Kwon, and K.-I. Lee, "Complex EGI Based 3D-Mesh Watermarking," *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, vol. E88-A, issue 6, pp. 1512-1519, June 2005.
- [7] S.-H. Lee, T.-S. Kim, S.-J. Kim, Y. Huh, K.-R. Kwon, K.-I. Lee, "3D mesh watermarking using projection onto convex sets," *IEEE International Conference on Image Processing*, vol. 3, pp. 1577 - 1580, Oct. 2004.
- [8] O. Benedens, "Geometry-based watermarking of 3D models," *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 19, issue 1, pp. 46-55, Jan./Feb. 1999.

- [9] E.S. Jang, James D.K.Kim, S.Y. Jung, M.-J. Han, S.O. Woo, and S.-J. Lee, "Interpolator Data Compression for MPEG-4 Animation," *IEEE Trans. On Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 14, no. 7, pp. 989-1008, July 2004.
- [10] ISO/IEC 14496-1, Coding of Audio-Visual Objects-Part 1: Systems, 2001.

배 성 호 (Sung-Ho Bae)

정회원



1991년 2월 : 경북대학교 전자공학과 학사
 1993년 2월 : 경북대학교 전자공학과 석사
 1997년 8월 : 경북대학교 전자공학과 박사
 1998년 8월~1999년 8월 : 삼성

전자 책임연구원

1999년 9월~현재 : 동명대학교 멀티미디어공학과 부교수

<관심분야> 디지털위터마킹, 영상처리, 컴퓨터비전

이 석 환 (Suk-Hwan Lee)

정회원



1999년 2월 : 경북대학교 전자공학과 학사
 2001년 2월 : 경북대학교 전자공학과 석사
 2004년 8월 : 경북대학교 전자공학과 박사
 2005년 3월~현재 동명대학교 정

보보호학과 조교수

<관심분야> 디지털위터마킹, DRM, MPEG

김 정 현 (Jung-Hyun Kim)

준회원



2004년 2월 : 동명대학교 멀티미디어공학과 공학사
 2007년 2월 : 동명대학교 멀티미디어공학과 석사
 <관심분야> 영상처리, 멀티미디어 통신, 네트워크

권 기 룡 (Ki-Ryong Kwon)

정회원



1986년 2월 : 경북대학교 전자공학과 공학사
 1990년 2월 : 경북대학교 전자공학과 석사
 1994년 8월 : 경북대학교 전자공학과 박사
 2000년 7월~2001년 8월 : Univ.

of Minnesota, Post-Doc.

1996년 3월 ~ 2006년 : 부산외국어대학교 컴퓨터전자공학부 부교수

2006년 ~ 현재 : 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 교수

<관심분야> 멀티미디어 정보보호, 멀티미디어 통신 및 신호처리, 웨이블릿 변환

이 응 주 (Eung-Joo Lee)

정회원



1990년 2월 : 경북대학교 전자공학과 학사
 1992년 2월 : 경북대학교 전자공학과 석사
 1992년 3월 : 국방품관소 연구원
 1996년 8월 경북대학교 전자공학과 박사

2000년 7월~2002년 : (주)디지털넷뱅크 대표이사

2005년 7월~현재: 대원경공업대학교 초빙연구교수

1997년~현재: 동명대학교 정보통신공학과 부교수

<관심분야> 영상처리, 컴퓨터비전, Biometrics