

방향보간기 기반의 3D 애니메이션 워터마킹

이석환[†], 권기룡^{**}, 도재수^{***}

요 약

본 논문에서는 방향 보간기를 이용한 3D 키프레임 애니메이션 워터마킹을 제안하였다. 3D 키프레임 애니메이션은 여러 개의 변환 노드들로 구성되어 있으며, 각 변환 노드에는 초기 모델의 기하학 노드와 운동 정보를 나타내는 여러 개의 보간기 노드들로 이루어져 있다. 제안한 방법에서는 방향 보간기 노드를 가지는 임의의 변환 노드를 선택한 후, 일정한 단위의 키 타임이 되도록 쿼터니언 성분들을 재배열한다. 그리고 각 키 타임 동안의 회전 방향이 큰 쿼터니언 성분에 워터마크를 삽입한다. 실험 결과로부터 제안한 방법에 의하여 삽입된 워터마크가 각종 기하학적 공격 및 타임라인 공격에 대하여 우수한 견고성을 가지며, 방향 보간기 노드 내에 키값에 대한 PSNR이 약 42dB 이상임을 확인하였다.

3D Animation Watermarking Based on Orientation Interpolator

Suk-Hwan Lee[†], Ki-Ryong Kwon^{**}, Jae-Su Do^{***}

ABSTRACT

This paper proposed 3D keyframe animation using orientation interpolator. 3D keyframe animation consists of a number of transform nodes that have geometrical node of initial model and several interpolator nodes that represent the object moving. In the proposed algorithm, we randomly selects transform nodes with orientation interpolator node and performs to resample quaternion components for having uniform key time. And then, watermark bits are embedded into quaternion components with large rotation angles. Experimental results verified that the watermark embedded by the proposed algorithm had good robustness against geometrical attacks and timeline attacks and also PSNR of keyvalue in orientation interpolator node is above 42dB.

Key words: 3D Animation(3D 애니메이션), Watermarking(워터마킹), Orientation Interpolator(방향 보간기)

1. 서 론

최근 그래픽 하드웨어의 성능이 향상되면서 보다 자연스럽고 사실적인 3D 이미지를 실시간으로 렌더링할 수 있게 되었다. 특히 웹 3D 상에서의 3D 그래픽 모델에 대한 많은 관심과 더불어, 3D 그래픽 모델에 대한 워터마킹 기술이 매우 중요한

연구 분야로 부각되어 많은 기법들이 제안되어지고 있다[1-9]. Ohbuchi 등[1]은 기하학적 및 위상학적 변형에 기반한 TSQ (triangle similarity quadruple), TVR (tetrahedral volume ratio), MDP (mesh density pattern)에 의하여 3D 폴리곤 모델에 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다. TSQ 방법에서는 인접한 메쉬들의 길이 비율에 워터마

* 교신저자(Corresponding Author) : 권기룡, 주소 : 부산광역시 남구 대연3동 599-1번지(608-737), 전화 : 051) 620-6495, FAX : 051) 620-6490, E-mail : krkwon@pknu.ac.kr

접수일 : 2006년 9월 11일, 완료일 : 2006년 11월 27일

[†] 정회원, 동명대학교 정보보호학과

(E-mail : skyllee@tit.ac.kr)

^{**} 종신회원, 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부

^{***} 정회원, 동국대학교 컴퓨터 멀티미디어학부

(E-mail : dojesu@mail.dongguk.ac.kr)

※ 본 연구는 2005년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (KRF-2005-042-D00225).

크를 삽입하며, TVR 방법에서는 사면체 체적 비율에 워터마크를 삽입한다. 그리고 MDP는 메쉬의 연결 정보에 워터마크를 시각적으로 삽입한다. 그러나 이들 방법들은 메쉬 간단화 및 리메쉬 등의 메쉬 연결성을 바꾸는 공격에 대하여 워터마크 추출하기 전에 원 메쉬의 연결성 정보를 찾는 재표본화(resampling) 과정이 필요하다. Benedens[2]은 3차원 방향 히스토그램 분포 상에서 랜덤하게 선택된 방향에 속해 있는 메쉬 법선 벡터 분포에 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다. 그러나 절단과 같은 기하학적 공격이 가해질 경우, 그 방향에 속해 있는 메쉬들이 없어지므로 삽입된 워터마크 정보가 없어진다. 또한 회전 등과 아핀 변환에서는 원 메쉬의 동일한 EGI 분포를 가지기 위하여 재배열(realignment) 과정이 필요하다. Lee 등[3-5]은 Benedens 방법의 단점을 보완하기 위하여 동일한 이진 워터마크 비트를 각 패치별 방향 히스토그램 분포 상에 각각 삽입하는 방법을 제안하였다. 이 방법은 각종 기하학적 공격 및 위상학적 공격에 강인한 장점을 갖는다. 또한 이들[6]은 비가시성 및 견고성을 향상시키기 위하여 POCS 기반의 3D 워터마킹 기술을 제안하였다. 그러나 이들 기법들은 정지된 3D 그래픽 모델에 대한 워터마킹 기법으로 3D 애니메이션에서는 적용되지 못한다. 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 정의되며, 꼭지점 애니메이션, 계층적 애니메이션, 뼈대 기반 애니메이션, 스키닝, 역운동학 기법 등에 의하여 표현되어 진다. 3D 그래픽에서는 실시간 애니메이션을 위하여 위의 방법들을 적용한 키프레임 애니메이션이 널리 사용되고 있다. 이 방법은 전체 프레임 중에서 중요한 프레임들의 키값을 등록하고, 등록된 키값들을 이용한 보간기에 의하여 나머지 프레임

들을 생성한다. 본 논문에서는 VRML[10] 및 MPEG4-BIFS(binary format for scenes)[11,12] 기반의 키프레임 애니메이션에 대한 워터마킹 기술을 제안한다.

VRML 및 MPEG-4 BIFS 기반의 애니메이션은 여러 개의 메쉬 모델들이 부모 자식 관계의 계층적으로 구성된다. 그리고 각 메쉬 모델들은 하나의 변환 노드들을 가지며, 변환 노드의 구조는 그림 1에서와 같이 위 절에서 언급한 보간기 및 기하학적 구조로 나타난다. 이와 같은 VRML 애니메이션 파일구조로부터 3D 애니메이션에 워터마크를 삽입하기 위한 대상체로는 다음과 같이 세 가지로 고려될 수 있다.

(1) 계층 구조 상에서 각 메쉬 모델의 변환 노드 행렬 : 전역 좌표계를 기준으로 각 메쉬 모델들이 얼마만큼 이동, 크기 및 회전되었는지를 표현하는 변환 행렬이다. 워터마크는 각 변환 노드의 이동, 크기 및 회전 행렬의 값에 삽입될 수 있다.

(2) 보간기 노드 상에서의 키 또는 키 값 : 키 또는 키 값은 한 물체의 움직임 정보를 나타내는 것으로 워터마크 삽입 대상체로 매우 중요한 요소로 고려될 수 있는 요소이다.

(3) 각 변환 노드 내에 기하학적 성질 : 변환 노드 내에 기하학적 정보는 꼭지점 좌표값 및 꼭지점의 연결 정보가 있다. 이는 움직이는 각 메쉬 모델의 초기 기하학적 정보로 보간기의 키 값에 의하여 변환되어 렌더링된다. 3D 그래픽 정지 모델과는 유사하나, 3D 애니메이션에서는 계층 구조 내에서의 메쉬 모델을 고려하여야 한다.

변환 노드의 행렬들은 각 메쉬 모델의 초기 지역 좌표계를 나타내는 중요한 정보이나, 삽입되는 워터마크의 용량이 매우 제한적이고, 카메라 뷰의 각도에 따라 행렬 값들이 쉽게 바뀌어진다. 그리고 변환 노드의 기하학적 성질은 타임라인과 같은 공격에 취약한 단점이 있다.

본 논문에서는 계층 구조를 가지는 각 메쉬 모델의 변환 노드 상에서 방향 보간기 노드의 키값에 위

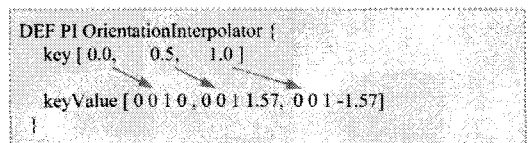


그림 1. 방향 보간기의 예

터마크를 각각 삽입하는 방법을 제안한다. 제안한 방법에서는 $L(=l \times N)$ 비트의 이진 워터마크를 임의로 선택된 M 개의 변환 노드 상의 방향 보간기 노드 내에 l 비트씩 각각 삽입한다. 이 때 워터마크 비트는 방향 보간기의 쿼터니언(quaternion) 키값 중 회전 변화량이 큰 키값을 기준으로 인접한 키값과의 기울기 변화분에 각각 삽입된다. 본 논문에서는 기하학적 및 타임라인 공격에 대한 견고성과 보간기 노드의 키값을 이용한 PSNR의 비가시성에 대하여 성능 평가 실험을 행하였다. 실험 결과로부터 제안한 방법이 우수한 견고성 및 비가시성을 가짐을 확인하였다.

2. 방향 보간기

본 장에서는 방향 보간기 노드에 대하여 간략히 살펴보기로 한다. VRML[10] 및 MPEG-4 BIFS에서는 선형 키프레임 애니메이션으로 설계된 Color Interpolator, Coordinate Interpolator, Normal Interpolator, Orientation Interpolator, Position Interpolator 및 Scalar Interpolator의 보간 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. 하나의 보간 노드는 분할 시간인 키(key)에 대한 키값(keyValue)의 조각적 함수 (piecewise function)로 정의되며, 키와 키에 대한 키 값의 집합으로 구성된다. 위치 보간기 (position interpolator) 및 방향 보간기 (orientation interpolator) 노드는 키 별로 각 메쉬 모델의 위치 및 회전을 나타내므로 간단한 키프레임 애니메이션을 매우 용이하게 구현할 수 있다. 본 논문에서는 키프레임 애니메이션에서 가장 많이 이용되고 있고, 워터마크를 강인하게 삽입하기 위하여 방향 보간기 노드를 워터마크 삽입 대상으로 고려한다. 방향 보간기는 방향을 나타내는 키값들 사이를 보간한다. 여기서 두 방향에 사이의 보간은 단위 구 상에서 두 방향의 가장 가까운 거리를 구한 후 이를 잇는 호 (arc) 상에서 선형적으로 구하여진다. 방향 보간기에서 임의의 키에 대한 키값은 $xx+yy+zz$ 축

에 대한 방향 θ 로의 회전을 나타내는 4개의 값 (x, y, z, θ) 으로 구성된다. 3개의 키에 대한 키값을 가지는 방향 보간기 노드는 그림 1에서와 같다. 이 그림을 살펴보면, 물체는 z 축에 대하여 일정한 각속도로 $\pi/2$ 만큼 반시계방향으로 회전한 후에 $-\pi/2$ 만큼 시계방향으로 회전한다. 위의 방향 보간기의 다른 표현으로 쿼터니언(quaternion) Q [11,12]가 있다. 쿼터니언 Q 는 4개의 성분 $\cos(\theta/2), n_x, n_y, n_z$ 을 $Q: (\cos(\theta/2), \sin(\theta/2)n_x + \sin(\theta/2)n_y + \sin(\theta/2)n_z)$ 로 표현한다. θ 는 회전각을 나타내고, n_x, n_y, n_z 는 회전축의 단위법선벡터를 나타낸다. 워터마크를 삽입하기 위하여 (x, y, z, θ) 의 키값을 사용할 수 있다.

3. 제안한 방향 보간기 워터마킹

본 논문에서 제안한 방향 보간기 워터마킹 기법에서의 삽입 과정은 그림 2에서와 같다. 삽입 과정을 살펴보면 먼저 VRML 기반의 3D 애니메이션 데이터 중 임의의 변환 노드들을 선택한 후, 변환 노드 내의 방향 보간기 노드의 키 및 키값을 얻는다. 그리고 키값을 쿼터니언[13,14]으로 변환하고, 키 타임을 균일 간격으로 재배열한 후에 각 키에 해당되는 키값을 Slerp (spherical linear interpolation) 보간[13,14]에 의하여 생성한다. 워터마크 삽입 대상은 각 키값의 회전량에 따라 선택되며, 이들 회전 변화분의 기울기 분포에 각각 워터마크가 삽입된다. 여기서 워터마크 키로는 선택된 변환 노드의 인덱스와 방향 보간기 노드 내에 삽입 대상 위치이다. 총 $L=N \times l$ 비트의 워터마크는 N 개 변환 노드 내의 방향 보간기에 l 비트씩 각각 삽입된다.

3.1 Slerp[13,14]기법을 이용한 재배열

3.1.1 쿼터니언 변환

VRML[10] 및 MPEG-4 BIFS[11,12] 등에서는 방향 보간기를 (x, y, z, θ) 의 Euler로 표현한다. 여기서 x, y, z 는 회전축을 나타내며, θ 는 회전 각도를 나타낸다. 본 논문에서는 임의로 선택된 변환 노드 상에서 방향 보간기 노드 내의 키 및 키값을

$$k = \{k_m | m \leq N\}, 0 \leq k_m \leq 1, \quad (1)$$

$$v = \{v_m = (x_m, y_m, z_m, \theta_m) | m \leq N\} \quad (2)$$

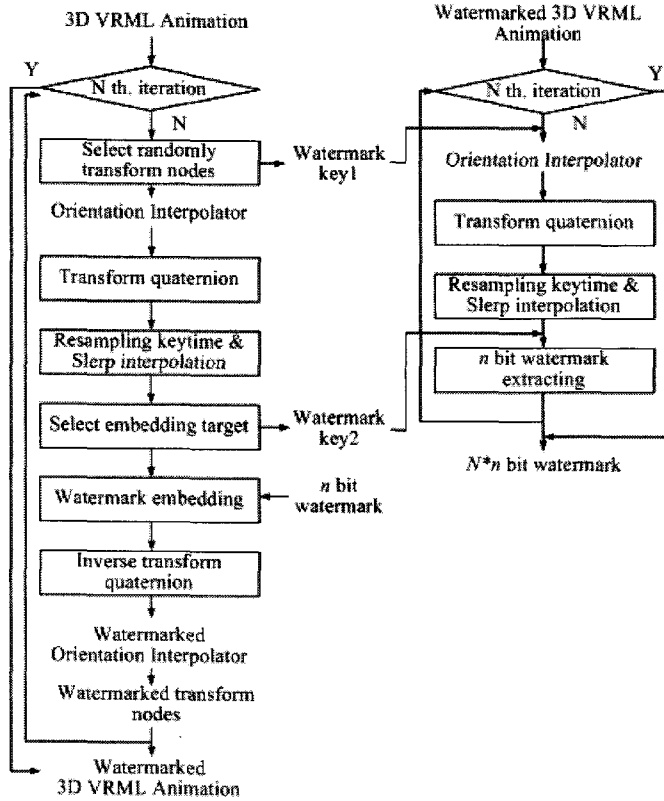


그림 2. 제안한 방향 보간기 노드 상에서의 워터마크 삽입 및 추출 과정

와 같이 표현하기로 한다. 여기서 N 은 키의 개수이다. 제안한 방법에서는 키값 v 를

$$Q = \{q_m = (w_m, x_m, y_m, z_m) = (\cos \theta_m, x_m \sin \frac{\theta_m}{2}, y_m \sin \frac{\theta_m}{2}, z_m \sin \frac{\theta_m}{2}) | m \leq N\} \quad (3)$$

의 쿼터니언[11,12]으로 변경한다. 그리고 쿼터니언을 Euler로 역변환하기 위하여 θ_m 의 부호를 저장한다.

3.1.2 키 및 키값의 재배열

각 방향 보간기 노드 상에서는 키의 단위가 일정하지 않으므로, 워터마크 추출시 워터마크가 삽입되는 키를 구하는 과정이 복잡하게 된다. 따라서 제안한 방법에서는 일정한 단위(STEP)를 가지는 키

$$\hat{k} = \{k_i | i \leq \int (1/step)\}, 0 \leq k_i = step \times i \leq 1 \quad (4)$$

를 구한 다음, 키 \hat{k} 에 대한 키값을 Slerp[13,14]에

$$\hat{Q} = \{q_i = (w_i, x_i, y_i, z_i) | i \leq 1/step\} \quad (5)$$

$$\begin{cases} q_i = slerp(t, q_m, q_{m+1}) = \frac{q_m \sin((1-t)\theta) + q_{m+1} \sin(t\theta)}{\sin \theta}, & k_m < k_i < k_{m+1} \\ q_i = q_m, & k_i = k_m \end{cases}$$

의하여 구한다. 여기서 재배열된 키 k_i 가 $k_m < k_i < k_{m+1}$ 일 때, q_m 및 q_{m+1} 은 Q 상에서 상,하한 키 k_m, k_{m+1} 의 키값을 나타낸다. 만약 재배열 키 k_i 가 $k_i = k_m$ 이면, $q_i = q_m$ 이다.

3.2 워터마크 삽입 대상 선택

w_i 는 $w_i = \cos(\theta_i/2)$ 이므로, w_i 가 작을수록 회전 각도가 커진다. 즉, 제안한 방법에서는 비가시적으로 삽입하기 위하여 키 시간동안 회전 각도가 큰 w_i 를 선택한다. 그리고 w_i 를 기준값으로 하여, 좌우에 해당되는 $w_{i-j, j \in [1, d]}$ 및 $w_{i+j, j \in [1, d]}$ 와의 기울기 분포에 워터마크를 삽입한다. 여기서 d 는 차수를 나타내며, 본 논문에서는 3으로 결정하였다. 따라서 워터마크

삽입 대상 조건으로는 회전 각도가 크며, 주위의 기울기 분포가 커야 한다.

w_i 에 따른 q_i 의 순위를 $rank(q_i) = r$ 라 하고, 이의 역함수는 $rank^{-1}(r) = i$ 이다. 즉, 역함수는 순위 r 인 키의 인덱스 i 를 나타낸다. 예를 들어 w_i 가 가장 작은 $\min\{w_i\}$ 은 순위가 가장 높은 $w_{rank^{-1}(1)}$ 와 같다. 높은 순위를 가지는 $w_{rank^{-1}(r)}$ 부터 탐색하여

$$|\bar{e}_0 - \bar{e}_1| \leq 2f\sigma \text{ 및 } w_{rank^{-1}(r)} > \bar{w} = \sum_{i=1}^N w_i / N \quad (6)$$

$$rank^{-1}(r) + j \notin [p_{n-1} - d, p_{n-1} + d] \quad -d \leq j \leq d \quad (7)$$

의 조건들을 모두 만족할 경우 $rank^{-1}(r)$ 번째 $w_{rank^{-1}(r)}$ 를 워터마크 삽입 대상 $P = \{p_n = rank^{-1}(r) | n \leq N_w\}$ 으로 선택한다. 여기서 \bar{e}_0 및 \bar{e}_1 는

$$\begin{aligned} \bar{e}_0 &= \frac{1}{d} \sum_{j=1}^d \left| \frac{w_{rank^{-1}(r)} - w_{rank^{-1}(r)-j}}{k_{rank^{-1}(r)} - k_{rank^{-1}(r)-j}} \right|, \\ \bar{e}_1 &= \frac{1}{d} \sum_{j=1}^d \left| \frac{w_{rank^{-1}(r)+j} - w_{rank^{-1}(r)}}{k_{rank^{-1}(r)+j} - k_{rank^{-1}(r)}} \right| \end{aligned} \quad (8)$$

와 같이 $w_{rank^{-1}(1)}$ 를 기준으로 왼쪽 $w_{rank^{-1}(r)-j, j \in [1, d]}$ 및 오른쪽 $w_{rank^{-1}(r)+j, j \in [1, d]}$ 와의 평균 기울기이다. 그리고 분산 σ 는

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{2d} \sum_{i=-d, i \neq 0}^d (m - e_i)^2}, \quad (9)$$

$$\text{where } m = \frac{1}{2d} \sum_{j=-d, j \neq 0}^d \left| \frac{w_{rank^{-1}(r)} - w_{rank^{-1}(r)-j}}{k_{rank^{-1}(r)} - k_{rank^{-1}(r)-j}} \right|$$

이고, f 는 대상 크기를 결정하는 인자이며, N_w 는 하나의 방향 보간기 노드에 삽입되는 워터마크 비트수이다.

제안한 방법에서는 워터마크 비트를 평균 기울기 차이에 삽입하므로, 워터마크 비트에 따라 평균 기울기를 변경하여야 한다. 이 때 평균 기울기 차이가 임의의 문턱치 이상일 경우 두 차이의 변형이 매우 크게 되며, 키에 대한 회전 이동이 연속적이지 않다. 따라서 첫 번째 조건인 식 (6)은 w_i 가 평균 \bar{w} 보다 크고, 주변 값과의 평균 기울기 차이 $|\bar{e}_0 - \bar{e}_1|$ 가 $2f\sigma$ 내에 있어야 한다. 평균 기울기는 식 (8)에서와 같이

차수 d 를 가지는 $w_{rank^{-1}(r)-j, j \in [1, d]}$ 및 $w_{rank^{-1}(r)+j, j \in [1, d]}$ 에 의하여 구하여진다. 제안한 방법에서는 워터마크 비트에 따라 $w_{rank^{-1}(r)-j, j \in [1, d]}$ 또는 $w_{rank^{-1}(r)+j, j \in [1, d]}$ 들을 조정함으로써 평균 기울기를 변경한다. 따라서 두 번째 조건인 식 (7)을 살펴보면, 워터마크 삽입으로 선택된 $w_{rank^{-1}(r)}$ 의 인덱스 $rank^{-1}(r)$ 및 차수 d 의 인덱스 $rank^{-1}(r) + j, -d \leq j \leq d$ 가 이전에 선택된 워터마크 삽입 대상 p_{n-1} 및 차수 d 의 $p_{n-1} + j, -d \leq j \leq d$ 에 포함되지 않아야 한다.

3.3 워터마크 삽입

n 번째 워터마크 비트 w_n 는 n 번째 워터마크 삽입 대상 w_{p_n} 을 기준으로 왼쪽 $w_{p_n-j, j \in [1, d]}$ 및 오른쪽 $w_{p_n+j, j \in [1, d]}$ 와의 평균 기울기 \bar{e}_{n0} 및 \bar{e}_{n1}

$$\bar{e}_{n0} = \frac{1}{d} \sum_{j=1}^d \left| \frac{w_{p_n} - w_{p_n-j}}{k_{p_n} - k_{p_n-j}} \right|, \quad \bar{e}_{n1} = \frac{1}{d} \sum_{j=1}^d \left| \frac{w_{p_n+j} - w_{p_n}}{k_{p_n+j} - k_{p_n}} \right| \quad (10)$$

의 차이값에

$$\text{If } w_n = 0, \text{ Then } \bar{e}_{n0} > \bar{e}_{n1} \quad (11)$$

$$\text{Else, } \bar{e}_{n0} < \bar{e}_{n1}$$

와 같이 삽입된다. 워터마크 비트 w_n 에 의한 평균 기울기 \bar{e}_{n0} 및 \bar{e}_{n1} 의 크기 변경은 다음과 같다. 여기서 워터마크가 삽입되는 w_{p_n} 에서의 평균 기울기 차이는 식 (6)에서와 같이 $|\bar{e}_0 - \bar{e}_1| \leq 2f\sigma$ 이다.

3.3.1 $w_n=0$ 일 경우

제안한 방법에서는 워터마크 비트 w_n 가 0일 경우에 평균 기울기 차이를 $\bar{e}_{n0} - \bar{e}_{n1} \geq 2f\sigma$ 이 되도록 그림 3에서와 같이 \bar{e}_{n0} 및 \bar{e}_{n1} 을

$$\begin{aligned} \bar{e}'_{n0} &= \bar{e}_{n0} + a = \frac{1}{d} \sum_{j=1}^d \left| \frac{w_{p_n} - w_{p_n-j}}{k_{p_n} - k_{p_n-j}} \right| + a = \\ &= \frac{1}{d} \sum_{j=1}^d \left(\left| \frac{w_{p_n} - w_{p_n-j}}{k_{p_n} - k_{p_n-j}} \right| + a_{n-j} \right) \\ &= \frac{1}{d} \sum_{j=1}^d (e_{n-j} + a_{n-j}) = \frac{1}{d} \sum_{j=1}^d e'_{n-j} \end{aligned} \quad (12)$$

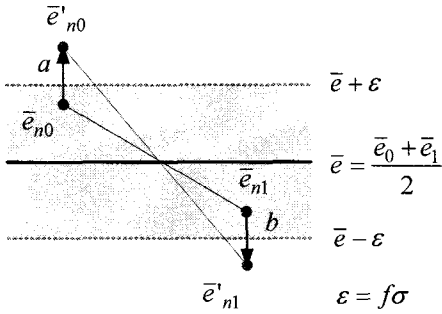


그림 3. $w_n = 0$ 인 경우 $\overline{e_{n0}} - \overline{e_{n1}} \geq 2f\sigma$ 되도록 $\overline{e_{n0}}$ 및 $\overline{e_{n1}}$ 을 변경

$$\begin{aligned} \overline{e'_{n1}} &= \overline{e_{n1}} - b = \frac{1}{d} \sum_{j=1}^d \left| \frac{w_{p_n+j} - w_{p_n}}{k_{p_n+j} - k_{p_n}} \right| - b = \\ &= \frac{1}{d} \sum_{j=1}^d \left(\left| \frac{w_{p_n+j} - w_{p_n}}{k_{p_n+j} - k_{p_n}} \right| - b_{n+j} \right) \\ &= \frac{1}{d} \sum_{j=1}^d (e_{n+j} - b_{n+j}) = \frac{1}{d} \sum_{j=1}^d e'_{n+j} \end{aligned} \quad (13)$$

와 같이 변경한다. 즉, 각 성분과의 기울기 e_{n-j} 및 e_{n+j} ($1 \leq j \leq d$)이 $\overline{e_{n0}} - \overline{e_{n1}} > 2f\sigma$ 을 만족하도록 각각 변경된다. 이 때 각 기울기를 변경하기 위하여 w_{p_n} 의 주위값 $w_{p_n+j, j \in [-d, d]}$ 을 워터마크에 따라 변경한다. 여기서 $f\sigma$ 를 간단히 ϵ 로 한다.

1) $e_{n-j, j \in [1, d]}$ 변경

$\overline{e_{n0}}$ 을 구성하는 각 기울기 성분 $e_{n-j, j \in [1, d]}$ 이

$$\begin{aligned} e'_{n-j} &= e_{n-j} + a_{n-j} \geq \overline{e} + \epsilon, \\ a_{n-j} &\geq -e_{n-j} + \overline{e} + \epsilon \end{aligned} \quad (14)$$

이 되도록 a_{n-j} 을 조정해야 한다. 제안한 방법에서는 변수 α 에 의하여 a_{n-j} 을

$$a_{n-j} = \alpha(-e_{n-j} + \overline{e} + \epsilon), \quad \alpha \geq 1 \quad (15)$$

와 같이 정의한다. 이를 식 (14)에 대입하면 워터마크가 삽입된 e'_{n-j} 은

$$e'_{n-j} = e_{n-j} + \alpha(-e_{n-j} + \overline{e} + \epsilon) = \alpha(\overline{e} + \epsilon) - (\alpha - 1)e_{n-j} \quad (16)$$

와 같다. 이를 변수 w_{p_n} , w_{p_n-j} , 및 w'_{p_n-j} 에 의하여 나타내면

$$\begin{aligned} \left| \frac{w_{p_n} - w'_{p_n-j}}{k_{p_n} - k_{p_n-j}} \right| &= \alpha(\overline{e} + \epsilon) - (\alpha - 1) \left| \frac{w_{p_n} - w_{p_n-j}}{k_{p_n} - k_{p_n-j}} \right|, \\ (k_{p_n} - k_{p_n-j} > 0) \end{aligned} \quad (17)$$

이다. 따라서 워터마크 비트 $w_n = 0$ 이 삽입된 $e'_{n-j, j \in [1, d]}$ 은 w'_{p_n-j} 에 의하여

$$w'_{p_n-j} = \begin{cases} \alpha w_{p_n} - (\alpha - 1)w_{p_n-j} - \alpha(\overline{e} + \epsilon)(k_{p_n} - k_{p_n-j}), & \text{if } w_{p_n} > w_{p_n-j} \\ \alpha w_{p_n} - (\alpha - 1)w_{p_n-j} + \alpha(\overline{e} + \epsilon)(k_{p_n} - k_{p_n-j}), & \text{if } w_{p_n} < w_{p_n-j} \end{cases} \quad (18)$$

구하여진다.

2) $e_{n+j, j \in [1, d]}$ 변경

$\overline{e_{n1}}$ 을 구성하는 각 기울기 성분 $e_{n+j, j \in [1, d]}$ 이

$$\begin{aligned} e'_{n+j} &= e_{n+j} - b_{n+j} \leq \overline{e} - \epsilon, \\ b_{n+j} &\geq e_{n+j} - \overline{e} + \epsilon \end{aligned} \quad (19)$$

이 되도록 b_{n+j} 을 조정해야 한다. b_{n+j} 은 a_{n+j} 을 구하는 것과 같이 변수 β 에 의하여

$$b_{n+j} = \beta(e_{n+j} - \overline{e} + \epsilon), \quad \beta \geq 1 \quad (20)$$

와 같이 구하여진다. 이를 식 (19)에 대입하면 워터마크가 삽입된 e'_{n+j} 은

$$\begin{aligned} e'_{n+j} &= e_{n+j} - \beta(e_{n+j} - \overline{e} + \epsilon) = (1 - \beta)e_{n+j} + \beta(\overline{e} - \epsilon) \\ &= \alpha(\overline{e} - \epsilon) - (\alpha - 1)e_{n+j} \end{aligned} \quad (21)$$

와 같다. 제안한 방법에서는 $\beta = \alpha$ 로 하여 e'_{n+j} 을 간단히 구하고자 한다. 식 (21)을 변수 w_{p_n} , w_{p_n-j} , 및 w'_{p_n-j} 에 의하여 나타내면

$$\begin{aligned} \left| \frac{w'_{p_n+j} - w_{p_n}}{k_{p_n+j} - k_{p_n}} \right| &= \alpha(\overline{e} - \epsilon) - (\alpha - 1) \left| \frac{w_{p_n+j} - w_{p_n}}{k_{p_n+j} - k_{p_n}} \right|, \\ (k_{p_n+j} - k_{p_n} > 0) \end{aligned} \quad (22)$$

이다. 따라서 워터마크 비트 $w_n = 0$ 이 삽입된 $e'_{n+j, j \in [1, d]}$ 은 w'_{p_n+j} 에 의하여

$$w'_{p_n+j} = \begin{cases} \alpha w_{p_n} - (\alpha-1)w_{p_n+j} + \alpha(\bar{e}-\epsilon)(k_{p_n+j} - k_{p_n}), & \text{if } w_{p_n+j} > w_{p_n} \\ \alpha w_{p_n} - (\alpha-1)w_{p_n+j} - \alpha(\bar{e}-\epsilon)(k_{p_n+j} - k_{p_n}), & \text{if } w_{p_n+j} < w_{p_n} \end{cases} \quad (23)$$

구하여진다. 위에서 구하여진 e'_{n-j} 및 e'_{n+j} 에 의하여 \bar{e}'_{n0} 및 \bar{e}'_{n1} 은 각각

$$\bar{e}'_{n0} = \frac{1}{d} \sum_{j=1}^d (\alpha(\bar{e}+\epsilon) - (\alpha-1)e_{n-j}) = \alpha(\bar{e}+\epsilon) - (\alpha-1)\bar{e}_{n0} \quad (24)$$

$$\bar{e}'_{n1} = \frac{1}{d} \sum_{j=1}^d (\alpha(\bar{e}-\epsilon) - (\alpha-1)e_{n+j}) = \alpha(\bar{e}-\epsilon) - (\alpha-1)\bar{e}_{n1} \quad (25)$$

와 같다. 여기서 평균 기울기 차이 $\bar{e}'_{n0} - \bar{e}'_{n1}$ 는

$$\bar{e}'_{n0} - \bar{e}'_{n1} = 2\alpha\epsilon - (\alpha-1)(\bar{e}_{n0} - \bar{e}_{n1}) \quad (26)$$

이고, 워터마크 삽입의 첫 번째 조건인 $-2\epsilon < \bar{e}_{n0} - \bar{e}_{n1} < 2\epsilon$ 이다. 따라서 워터마크 비트 $w_n = 0$ 일 때 $\bar{e}'_{n0} - \bar{e}'_{n1}$ 는

$$\begin{aligned} 2\epsilon < \bar{e}'_{n0} - \bar{e}'_{n1} < 4\alpha\epsilon - 2\epsilon, \quad \alpha > 1 \\ \bar{e}'_{n0} - \bar{e}'_{n1} &= 2\epsilon, \quad \alpha = 1 \end{aligned} \quad (27)$$

이다.

3.3.2 $w_n = 1$ 일 때

워터마크 비트 w_n 이 1일 때, 그림 4에서와 같이 평균 기울기 차이가 $\bar{e}_{n1} - \bar{e}_{n0} \geq 2\epsilon$, ($\epsilon = f\sigma$)이 되도록 각 기울기 성분 e_{n-j} 및 e_{n+j} ($j \in [1, d]$)들을 각각 변경한다.

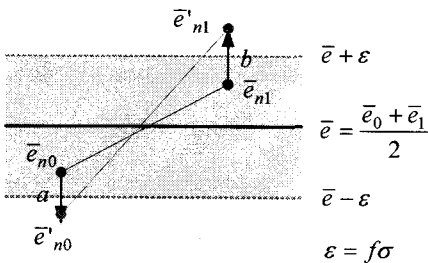


그림 4. $w_n = 1$ 인 경우 $\bar{e}_{n1} - \bar{e}_{n0} \geq 2f\sigma$ 되도록 \bar{e}_{n0} 및 \bar{e}_{n1} 을 변경

1) $e_{n-j, j \in [1, d]}$ 변경

좌측 평균 기울기 \bar{e}_{n0} 는 그림 3에서와 같이

$$\bar{e}'_{n0} = \bar{e}_{n0} - a \leq \bar{e} - \epsilon \quad (28)$$

와 같이 바뀌어야 하므로 각 기울기 성분 $e_{n-j, j \in [1, d]}$ 은

$$e'_{n-j} = \alpha(\bar{e}-\epsilon) - (\alpha-1)e_{n-j} \quad (29)$$

이어야 한다. 위 식을 변수 w_{p_n} , w_{p_n-j} 및 w'_{p_n-j} 에 대하여 나타내면

$$\begin{aligned} \left| \frac{w_i - w'_{i-j}}{k_i - k_{i-j}} \right| &= \alpha(\bar{e}-\epsilon) - (\alpha-1) \left| \frac{w_i - w_{i-j}}{k_i - k_{i-j}} \right|, \\ (k_{p_n} - k_{p_n-j}) &> 0 \end{aligned} \quad (30)$$

와 같다. 따라서 워터마크 비트 w_n 이 1일 때, 변경된 좌측 기울기 성분 $e'_{n-j, j \in [1, d]}$ 은 w'_{p_n-j}

$$w'_{p_n-j} = \begin{cases} \alpha w_{p_n} - (\alpha-1)w_{p_n-j} - \alpha(\bar{e}-\epsilon)(k_{p_n} - k_{p_n-j}), & \text{if } w_{p_n} > w_{p_n-j} \\ \alpha w_{p_n} - (\alpha-1)w_{p_n-j} + \alpha(\bar{e}-\epsilon)(k_{p_n} - k_{p_n-j}), & \text{if } w_{p_n} < w_{p_n-j} \end{cases} \quad (31)$$

에 의하여 구하여진다.

2) $e_{n+j, j \in [1, d]}$ 변경

우측 평균 기울기 \bar{e}_{n1} 는 그림 3에서와 같이

$$\bar{e}'_{n1} = \bar{e}_{n1} + b \geq \bar{e} - \epsilon \quad (32)$$

와 같이 바뀌어야 하므로 각 기울기 성분 $e_{n+j, j \in [1, d]}$ 은

$$e'_{n+j} = \alpha(\bar{e}+\epsilon) - (\alpha-1)e_{n+j} \quad (33)$$

이어야 한다. 위 식을 변수 w_{p_n} , w_{p_n+j} 및 w'_{p_n+j} 에 대하여 나타내면

$$\begin{aligned} \left| \frac{w'_{p_n+j} - w_{p_n}}{k_{p_n+j} - k_{p_n}} \right| &= \alpha(\bar{e}+\epsilon) - (\alpha-1) \left| \frac{w_{p_n+j} - w_{p_n}}{k_{p_n+j} - k_{p_n}} \right|, \\ (k_{p_n+j} - k_{p_n}) &> 0 \end{aligned} \quad (34)$$

와 같다. 따라서 워터마크 비트에 의하여 변경된 우측 기울기 성분 $e'_{n+j, j \in [1, d]}$ 은 w'_{p_n+j}

$$w'_{p_n+j} = \begin{cases} \alpha w_{p_n} - (\alpha - 1)w_{p_n+j} + \alpha(\bar{e} + \epsilon)(k_{p_n+j} - k_{p_n}), & \text{if } w_{p_n+j} > w_{p_n} \\ \alpha w_{p_n} - (\alpha - 1)w_{p_n+j} - \alpha(\bar{e} + \epsilon)(k_{p_n+j} - k_{p_n}), & \text{if } w_{p_n+j} < w_{p_n} \end{cases} \quad (35)$$

에 의하여 구하여진다.

3.4 단위 쿼터니언

$p_n + j$ 번째 쿼터니언 $q_{p_n+j} = \{w_{p_n+j}, x_{p_n+j}, y_{p_n+j}, z_{p_n+j}\}$ 는 단위 벡터이다. 그러나 워터마크에 따라 변경된 w'_{p_n+j} ($j \in [-d, d]$)에 의하여 쿼터니언 $q'_{p_n+j} = \{w'_{p_n+j}, x_{p_n+j}, y_{p_n+j}, z_{p_n+j}\}$ 는 단위 벡터로 구성되어 있지 않다. 따라서 q'_{p_n+j} 를 단위 벡터로 재구성하여야 한다. 제안한 방법에서는

$$\begin{aligned} \|q_{p_n+j}\| &= \sqrt{w_{p_n+j}^2 + x_{p_n+j}^2 + y_{p_n+j}^2 + z_{p_n+j}^2} \\ \|q'_{p_n+j}\| &= \sqrt{w'_{p_n+j}^2 + x_{p_n+j}^2 + y_{p_n+j}^2 + z_{p_n+j}^2} = 1 \end{aligned} \quad (36)$$

이 되도록 $x'_{p_n+j}, y'_{p_n+j}, z'_{p_n+j}$ 를

$$x'_{i+j} = \gamma \cdot x_{i+j}, \quad y'_{i+j} = \gamma \cdot y_{i+j}, \quad z'_{i+j} = \gamma \cdot z_{i+j} \quad (37)$$

와 같이 동일한 인자 γ 를 이용하여 구한다. 이 때 $x'_{p_n+j}, y'_{p_n+j}, z'_{p_n+j}$ 를 식 (36)에 대입하면

$$w_{i+j}^2 + \gamma^2(x_{i+j}^2 + y_{i+j}^2 + z_{i+j}^2) = 1 \quad (38)$$

이므로 인자 γ 는

$$\gamma = \frac{1 - w_{i+j}^2}{x_{i+j}^2 + y_{i+j}^2 + z_{i+j}^2} \quad (39)$$

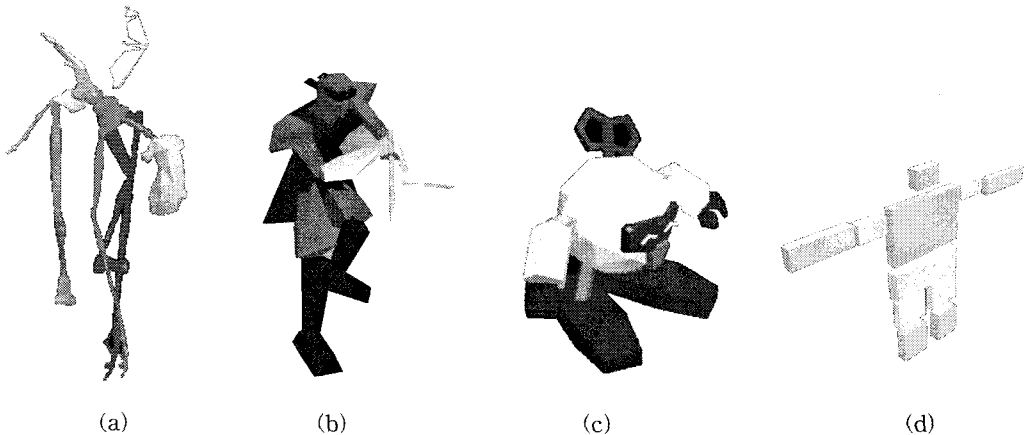


그림 5. 본 실험에 사용된 (a) Wailer, (b) Ninja, (c) Bomb, 및 (d) Boxbody 애니메이션 모델들

이다.

3.5 워터마크 추출

제안한 워터마크 추출 방법에서는 그림 2에서와 같이 삽입된 변환 노드의 인덱스 $TR = \{TR_i | i \in [1, M]\}$ 및 방향 보간기 노드 내에 삽입 위치 $p_{n,n} \leq l$ 인 워터마크 키를 이용하여 총 $L = N \times l$ 비트의 워터마크를 추출한다. 즉, i 번째 변환 노드 TR_i 내의 방향 보간기 노드를 쿼터니언으로 변환한 후, 각 키 및 키값을 STEP 단위로 재배열한다. 그리고 삽입 위치 $p_{n,n} \leq l$ 상에서의 $w'_{p_{n,n} \leq l}$ 을 기준으로 왼쪽 $w'_{p_n-j, j \in [1, d]}$ 및 오른쪽 $w'_{p_n+j, j \in [1, d]}$ 와의 평균 기울기 \bar{e}'_{n0} 및 \bar{e}'_{n1} 을 구한다. 그리고 평균 기울기의 크기에 따라

$$\begin{aligned} \text{IF } w'_n = 0, & \text{ Then } \bar{e}'_{n0} \geq \bar{e}'_{n1} \\ \text{Else, } & \bar{e}'_{n0} < \bar{e}'_{n1} \end{aligned} \quad (40)$$

와 같이 워터마크 $w'_{n,n} \leq l$ 를 추출한다.

4. 실험 결과

본 논문에서는 제안한 방법의 성능 평가를 위하여 3DS-MAX 테스트 애니메이션으로 제공되는 Wailer와 Ninja, Bomb, Boxbody 등을 VRML 데이터로 변환하여 이를 테스트 모델로 사용하였다.

각 테스트 모델의 방향 보간기 노드의 개수는 표 1에서와 같으며, 이들 모델들은 100개의 프레임들로 구성되어 있고, 각 노드 내의 키는 [0 1] 사이에 다양한 개수들로 이루어져 있다. 본 실험에서는 Wailer

모델에 대하여 방향 보간기 노드 중 25개를 랜덤하게 선택한 후, 총 100 비트의 워터마크를 4비트씩 각 변환 노드의 방향 보간기 키값에 각각 삽입하였다. 그리고 Ninja, Bomb 및 Boxbody 모델에 대하여는 각각 15개 노드, 9개 노드 및 5개 노드를 선택하여 각 노드당 4비트씩 워터마크를 삽입하였다. 본 실험에 사용된 성능 평가 척도로는 3D 애니메이션 공격에 대한 견고성 및 워터마크의 비가시성이다.

4.1 비가시성

최근 3D 그래픽 모델에 대한 화질 척도에 대한 연구가 진행되고 있으며, 대표적인 화질 척도로 Hausdorff 거리를 이용한 MESH[15]가 있다. 그러나 MESH는 키 프레임 기반의 3D 애니메이션에서는 적용되지 못한다. 따라서 본 실험에서는 간단한 비가시성의 화질 척도로 방향 보간기 노드의 키값들에 대한 평균 PSNR (peak signal-to-noise ratio)

$$PSNR = \sum_{i=1}^N PSNR_i = \sum_{i=1}^N (10 \log_{10} \frac{MAX_i}{\sum_{j=1}^{N_i} (w_{ij} - w'_{ij})^2}) / N \quad (41)$$

을 사용하였다. 즉, 평균 PSNR은 워터마크가 삽입된 변환 노드의 방향 보간기 노드 내에 키값의 평균 PSNR이다. $PSNR_i$ 은 i 번째 방향 보간기 노드 내에 원래의 성분 w_i 와 워터마크된 성분 w'_i 와의 PSNR이다. 여기서 w_i 및 w'_i 은 STEP 단위로 재배열된 쿼터니언의 첫 번째 성분을 나타내고 N_i 는 1/STEP이다. 제한한 방법에 의하여 워터마크가 삽입된 애니메이션 모델의 방향 보간기 노드 키값에 대한 평균 PSNR은 약 42.8-44.1 dB이다. 이는 객관적 화질 척도로 우수한 비가시성을 가지고 있다고 판단된다. Wailer의 원 애니메이션의 50번째 프레임 모델 및 워터마크가 삽입된 50번째 프레임을 모델은 그림 6에서와 같다. 이 그림들을 살펴보면, 워터마크가 비가시적으로

삽입됨을 알 수 있다. 또한 Wailer 애니메이션 데이터 중 임의의 방향 보간기 내에 재배열된 쿼터니언의 $w_{i,i \in [0,1]}$ 성분 및 워터마크가 삽입된 $w'_{i,i \in [0,1]}$ 은 그림 6에서와 같다. 이 그림을 살펴보면, 0.21, 0.39, 0.63, 0.56의 키에 워터마크가 삽입됨을 볼 수 있다. 즉, 워터마크 삽입 대상은 $p = \{0.21, 0.39, 0.63, 0.56\}$ 이며, 이 키 동안의 w'_p 가 좌우 $w'_{p,i,j \in [-d,d]}$ 와의 기울기 변화가 워터마크에 의하여 변화된다. 이 때 $w_{i,i \in [0,1]}$ 및 $w'_{i,i \in [0,1]}$ 가 거의 유사함을 그림 7에서 볼 수 있다.

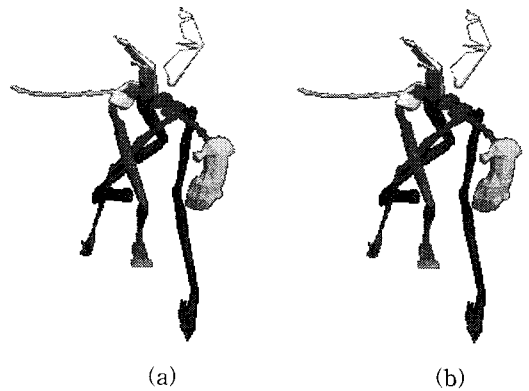


그림 6. (a) Wailer의 50번째 프레임 및 (b) 워터마크가 삽입된 Wailer의 50번째 프레임

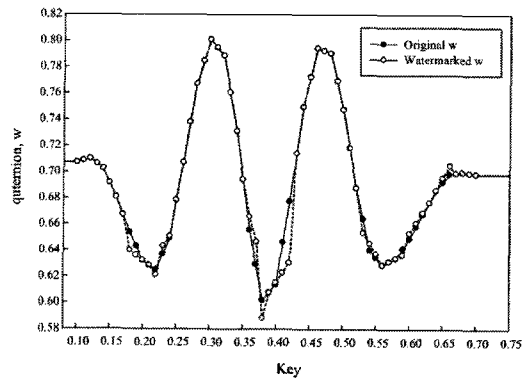


그림 7. Wailer 애니메이션 데이터 중 임의의 방향 보간기 내에 재배열된 쿼터니언의 $w_{i,i \in [0,1]}$ 성분 및 워터마크가 삽입된 $w'_{i,i \in [0,1]}$ 성분

표 1. 테스트 모델의 변환 노드 수 및 PSNR

Test model	Number of OrientationInterpolator node	Watermark bit	PSNR
Wailer	104	100	44.096
Ninja	19	60	43.032
Bomb	9	36	43.285
Boxbody	5	20	42.820

4.2 견고성

3DS-MAX, Maya 등 3D 애니메이션을 편집할 수 있는 범용 도구들이 많이 개발되고 있다. 본 논문에서는 범용 도구들 상에서 사용되는 기능을 크게 기하학적 공격 및 타임라인 공격으로 분류하여 이를 견고성 실험에 사용하였다. 타임라인 공격은 타임 축 또는 키의 수를 확장 및 축소하는 것이다. 그리고 기하학적 공격에는 IndexFaceSet 노드 상에 꼭지점 좌표 또는 연결 정보를 바꾸는 것으로 구부림 (Bend), 점감 (Taper), 잡음, 패치 변형 (Patch Deform), 메쉬 뽕뽕화 (Mesh smooth), HSDS 변경, 다각형 절단 (cutting)/분배(divider)/분출(extrude), 꼭지점 제거, 회전, 스케일링, 이동 등이 대표적이다. 제안한 방법은 방향 보간기 노드에 워터마크를 삽입하므로 기하학적 공격보다 타임라인 공격에 영향을 받는다. 본 실험에서는 3DS-MAX 툴을 이용하여 키의 부표본화 (Subsampling), 랜덤 키 생성 및 타임라인 축소의 타임라인 공격을 수행하였고, 구부림, 점감, 메쉬 뽕뽕화 및 다각형 절단/분출의 기하학적 공격을 랜덤 키 생성과 함께 수행하여, 이에 대한 워터마크의 견고성을 평가하였다. 실험 결과로는 표 2에서와 같다.

키의 부표본화에서는 $1/\alpha$ 단위로 키를 부표본화하며, 이 단위에 비례하여 키의 개수가 줄어진다. 이 때 1/3 및 1/4 단위로 부표본화된 애니메이션에 대하여 추출된 워터마크의 BER가 표 2에서와 같이 약 0.17-0.30이다. 즉, 워터마크 비트의 70% 이상이 오류없이 검출됨을 알 수 있다. 1/3 단위로 부표본화된

애니메이션에서의 쿼터니언 w값은 그림 8 (a)에서와 같다. 랜덤 키 생성에서는 Coordinate Interpolator를 3단위의 표본률 (Sample rate)이 되도록 키를 생성한다. 즉, 그림 8 (b)에서와 같이 키값의 움직임이 유지되면서 전체 키 중 약 33% 정도의 키가 생성된다. 이 때 워터마크는 오류없이 거의 추출됨을 알 수 있다. 타임라인 축소에서는 애니메이션의 전체 타임 중 약 80% 또는 60%로 축소한다. 이 때 키의 개수도 약 24% 또는 20%로 줄어든다. 타임라인 축소에 대하여 추출된 워터마크의 BER가 약 0.25-0.35로 약 65% 이상의 워터마크 비트가 추출됨을 알 수 있다.

구부림 (Bend)은 구부림 축 (Bend axis)을 기반으로 방향 (direction) 및 물체의 각도 (angle)의 변수들 (angle, direction, bend axis)에 의하여 애니메이션의 모델을 구부린다. 구부림 공격 실험에서는 워터마크된 Wailer를 임의의 변수 (80, 30, z)에 의하여 구부린 후 표 2에서와 같이 워터마크를 추출하였다. 이 때 추출된 워터마크의 BER은 0.17-0.25이다. 점감 (Taper)은 (amount, curve, primary, effect)의 변수에 의하여 점감 축 (Taper axis)을 기준으로 볼록 또는 오목 형태로 만든다. 변수 amount 및 curve는 모델의 점감되는 양 및 형태를 나타낸다. 변수 primary는 점감되는 중심축이며, 변수 effect는 점감되는 형태인 curve의 방향을 나타낸다. (1, 1, z, xy)에 의하여 점감된 Wailer에서 추출된 워터마크의 BER은 0.17-0.25이다. 메쉬 뽕뽕화 (Mesh smooth)는 (iteration, smoothness) 변수에 의하여 다각형 표면

표 2. 타임라인 및 기하학적 공격에 대한 견고성 실험 결과

공격		Key number	BER [%]				
			Wailer	Ninja	Bomb	Boxbody	
타임라인 공격	키의 부표본화	1/2	50%	0.00	0.01	0.01	0.02
		1/3	34%	0.20	0.18	0.17	0.25
		1/4	26%	0.25	0.25	0.24	0.30
	랜덤 키 생성		33%	0.00	0.02	0.01	0.02
	타임라인 80% 축소		24%	0.28	0.25	0.27	0.31
	타임라인 60% 축소		20%	0.33	0.32	0.30	0.35
기하학적 공격 + 랜덤 키 생성	구부림 (80,30,z)		33%	0.18	0.19	0.17	0.25
	점감 (1,1,z,xy)		33%	0.18	0.19	0.17	0.25
	메쉬뽕뽕화 (1,1,0)		33%	0.18	0.19	0.17	0.25
	다각형 절단 (40%)		33%	0.31	0.29	0.26	0.33
	다각형 분출 (50%)		33%	0.35	0.33	0.29	0.38

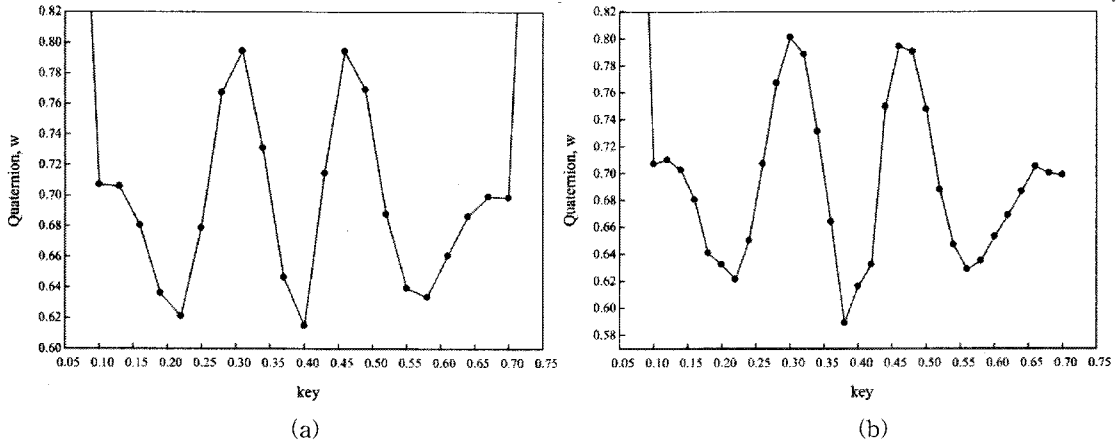


그림 8. (a) 1/3 키의 부표화 및 (b) 33% 랜덤 키 생성된 키값의 쿼터니언 w 값들

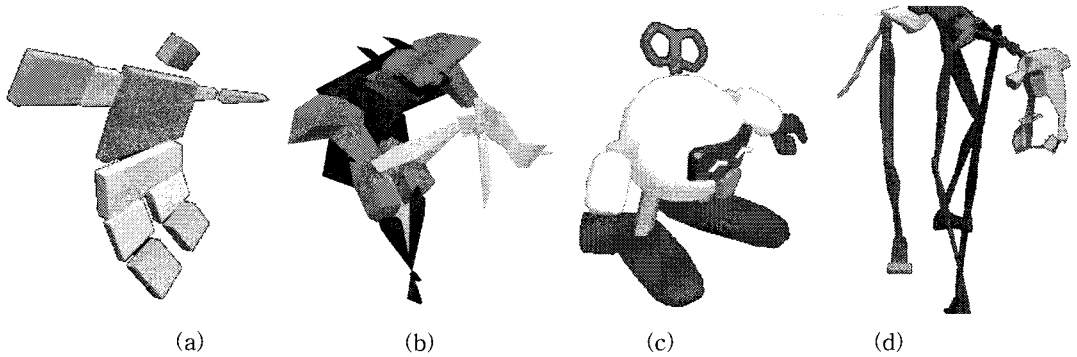


그림 9. (a) 구부러진 Boxbody, (b) 점감된 Ninja, (c) 메쉬 뭉롱화된 Bomb, 및 (d) 다각형 절단된 Wailer 애니메이션 모델들

을 분할함으로써 애니메이션 모델의 형상을 뭉롱하게 만든다. 모든 변환 노드 상에서 (1, 1.0)으로 메쉬 뭉롱화된 Wailer는 그림 9 (a)에서와 같으며, 이 때 추출된 워터마크의 BER은 0.17-0.25이다. 임의의 변환 노드 상에서 40-50% 정도의 다각형 또는 꼭지점들을 분출 및 절단하였다. 이 때 추출된 워터마크의 BER은 0.26-0.38이다. 구부림, 점감, 메쉬뭉롱화 및 다각형 절단된 애니메이션 모델들은 그림 9에서와 같다. 이상에서와 같이 본 실험에서는 제안한 애니메이션 워터마킹 방법이 우수한 비가시성 및 견고성을 가짐을 확인할 수 있었다.

5. 결 론

디지털 워터마킹은 정지영상, 비디오, 오디오 및 3D 콘텐츠에 대한 저작권 보호 기술이다. 그러나 기

존의 연구된 워터마킹 기술은 정지영상, 비디오 및 오디오에 대하여 제한되어져 왔다. 최근 3D 콘텐츠의 상업적 활용도가 증가되면서, 이들 3D 그래픽 모델에 대한 워터마킹 기술이 연구되고 있다. 3D 그래픽 모델의 데이터 구조는 정지영상 및 비디오의 데이터 구조와는 달리 가변적인 축 상에서의 꼭지점 좌표를 가지고 있으므로, 모델의 형상을 그대로 유지하면서 여러 가지 기하학적 및 위상학적 변형이 용이하다. 이러한 특성으로 인하여 견고성이 강한 워터마킹 기술 제안이 어려우므로, 기존의 정지영상 및 비디오에 대한 워터마킹 기술에 비하여 활발히 진행되고 있지 않다.

3D 콘텐츠에는 3D 그래픽 모델뿐만 아니라 3D 컴퓨터/모바일 게임, 3D 아바타/캐릭터 등에서 널리 이용되고 있는 3D 애니메이션이 있다. 일반적인 3D 애니메이션 표현 방법인 3D 키프레임 애니메이션은

3D 그래픽 모델과 달리 기하학적 정보로 구성되는 초기 프레임을 기반으로 위치, 방향, 색상, 법선 등 여러 가지 보간기 노드에 의하여 움직임을 표현한다. 본 논문에서는 3D 키프레임 애니메이션에서 방향 보간기를 이용한 워터마킹 기법을 제안하였다. VRML 및 MPEG-4 BIFS 기반의 3D 키프레임 애니메이션은 계층 구조 상에서 각 메쉬 모델의 변환 노드, 변환 노드 상에서의 보간기 내에 키 또는 키 값, 그리고 coordIndex 필드의 기하학적 성분으로 구성되어 있다. 제안한 방법에서는 여러 개의 보간기 노드 중 방향 보간기 노드를 임의로 선택한 후, 일정한 키 단위를 가지는 쿼터니언 값으로 재배열한다. 재배열된 쿼터니언 키값들 중 회전량이 큰 값을 선택하여, 이 값을 기준으로 좌우 구간와의 기울기 차이값에 워터마크를 삽입한다. 여기서 하나의 방향 보간기 노드 상에서는 4비트의 워터마크가 4개의 구간에 각각 삽입된다. 제안한 방법의 성능 평가를 위하여 본 실험에서는 비가시성 척도로 간단한 키값의 PSNR비를 수행하였고, 견고성 척도로 기하학적 공격 및 타임라인 공격을 수행하였다. 실험 결과로부터 제안한 방법이 약 42 dB 이상의 PSNR을 가지며, 각종 타임라인 및 기하학적 공격에 대하여 약 70% 이상의 워터마크가 오류없이 추출됨을 확인하였다.

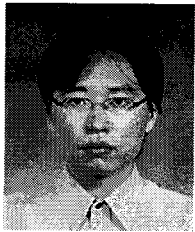
3D 키프레임 애니메이션에 대한 워터마킹 기술은 국내외적으로 연구가 진행되지 않은 분야이나 상업적 또는 학문적 관점에서 향후 워터마킹 기술에 매우 필요한 분야로 판단된다. 이와 더불어 3D 애니메이션 워터마킹의 성능 검증에 위한 견고성 및 비가시성의 척도가 필요할 것이다. 향후 연구 방안으로는 위치, 방향, 색상, 법선 등의 여러 가지 보간기 노드 기반의 워터마킹 기술을 제시할 것이며, 계층적 구조로 구성된 변환 노드 내에 꼭지점 좌표의 기하학적 정보를 이용하여 다양한 기하학적 공격 및 타임라인 공격에 견고한 워터마킹 기술을 제시할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 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.
- [2] O. Benedens, "Geometry-Based Watermarking of 3D Models," *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 19, No. 1, pp. 46-55, Jan./Feb. 1999.
- [3] K.R. Kwon, S.G. Kwon, and S.H. Lee, "3D Watermarking Shape Recognition System Using Normal Vector Distribution Modelling," *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 3397-9743, pp. 481-490, Feb. 2005.
- [4] 이석환, 김태수, 김병주, 김지홍, 권기룡, 이진일, "패치별 EGI 분포를 이용한 3D 메쉬 모델 워터마킹," *멀티미디어학회 논문지* 제7권 1호, pp. 80-90, 2004년 1월.
- [5] S.H. Lee and K.R. Kwon, "Watermarking for 3D Mesh Model Using Patch CEGIs," *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 3481, pp. 557-566, May 2005.
- [6] S.H. Lee, T.S. Kim, S.J. Kim, Y. Huh, K.R. Kwon, and K.I. Lee, "3D mesh watermarking using projection onto convex sets," *International Conference on Image Processing, 2004. ICIP '04*, Vol. 3, pp. 1577-1580, Oct. 2004.
- [7] 김기석, 천인국, "쾌속조형 시스템을 위한 3차원 기하학적 형상인 STL의 디지털 워터마킹," *멀티미디어학회 논문지* 제5권 제5호, pp. 552-561, 2002년 10월.
- [8] B-L. Yeo and M. M. Yeung, "Watermarking 3D Objects for Verification," *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 19, issue 1, pp. 36-45, Jan./Feb. 1999.
- [9] H.S. Song, N.I. Cho, and J.W. Kim, "Robust Watermarking of 3D Mesh Models," *Multimedia Signal Processing, 2002 IEEE Workshop*, pp 332-335, 2002.
- [10] ISO/IEC 14772-1, The virtual reality modeling language.
- [11] 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.

- [12] ISO/IEC 14496-1, Coding of Audio-Visual Objects-Part 1: Systems, 2001.
- [13] David Eberly, *Quaternion Algebra and Calculus*, Geometric Tools, Inc. <http://www.geometrictools.com/Documentation/Documentation.html>, Sep. 2002.
- [14] Ken Shoemake, "Animating Rotation with Quaternion Curves," *Siggraph '85*, Vol. 19, No. 3, pp. 245-254, 1985.
- [15] N. Aspert, D. Santa-Cruz, and T. Ebrahimi, "MESH: Measuring Errors Between Surfaces Using the Hausdorff Distance," *IEEE International Conference in Multimedia and Expo*, Vol. 1, pp. 705-708, Aug. 2002.

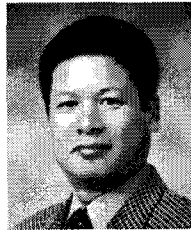


이 석 환

1999년 경북대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
 2001년 경북대학교 전자공학과 졸업 (공학석사)
 2004년 경북대학교 전자공학과 졸업 (공학박사)
 2005년~현재 동명대학교 정보

보호학과 전임강사

관심분야 : 워터마킹, DRM, 영상신호처리



권 기 통

1986년 경북대학교 전자공학과 학사 졸업 (공학사)
 1990년 경북대학교 전자공학과 석사 졸업 (공학석사)
 1994년 경북대학교 전자공학과 박사 졸업 (공학박사)

2000년~2001년 Univ. of Minnesota, Post-Doc.

1996년~2005년 부산외국어대학교 디지털정보공학부 부교수

2006년~현재 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 부교수

2005년~현재 한국멀티미디어학회 논문지 편집위원장
 관심분야 : 멀티미디어 정보보호, 영상통신



도 재 수

1991년 경북대학교 전자공학과 졸업 (공학사)

1994년 홋카이도(Hokkaido) 대학 대학원 전자공학과 (공학석사)

1997년 홋카이도(Hokkaido) 대학 대학원 전자공학과 (공학박사)

1997년~1999년 동국대학교 전자계산학과 전임강사

1999년~2003년 동국대학교 컴퓨터학과 조교수

2003년~현재 동국대학교 컴퓨터·멀티미디어학과 부교수

관심분야 : 영상신호처리, 영상압축, 웨이브릿 변환