

3D 애니메이션 콘텐츠의 강인성 및 연약성 인증을 위한 동시성 워터마킹 기법

이석환[†], 권성근^{**}, 권기룡^{***}

요 약

본 논문에서는 3D 애니메이션 콘텐츠의 저작권 보호 및 인증을 위하여 강인성 및 연약성을 동시에 가지는 워터마킹 기법을 제안한다. 제안한 방법에서는 3D 애니메이션 모델 상에서 기하 형상 노드 내에 소유권 주장 및 저작권 보호를 위한 워터마크를 강인하게 삽입하며, 위치 및 방향 보간기 노드 내에 콘텐츠 인증을 위한 워터마크를 연약하게 삽입한다. 본 논문에서는 전자를 강인한 기하학 워터마킹이라 하고, 후자를 연약한 보간기 워터마킹이라 한다. 이들 두 기법들은 독립적이며 병렬적으로 동시에 행하여지므로, 3D 애니메이션 콘텐츠의 강인성 및 연약성을 동시에 만족한다. 실험 결과로부터 기하학 워터마킹에 삽입된 강인한 워터마크가 3D 콘텐츠 편집툴에서 제공하는 여러 3D 공격 형태에 대하여 강인성을 가지며, 보간기 워터마킹에 의하여 삽입된 연약한 워터마크는 동일한 공격에 대하여 연약함을 확인하였다.

Concurrent Watermarking Scheme for Robust and Fragile Authentication of 3D Animation Content

Suk-Hwan Lee[†], Seong-Geun Kwon^{**}, Ki-Ryong Kwon^{***}

ABSTRACT

This paper presents a concurrent watermarking scheme with both robustness and fragileness for copy-right protection and authentication of 3D animation contents. In a 3D animation model, the proposed scheme embeds not only robustly the watermark into geometry node for copyright protection but also fragilely the watermark into position and orientation interpolators for content authentication. This paper names the former as the robust geometry watermarking and the latter as the fragile interpolator watermarking. The proposed scheme performs independently these watermarkings for satisfying at one time the robustness and the fragileness of 3D animation model. From experimental results, we verified that the watermark embedded by the geometry watermarking has the robustness against many attacks from 3D public editing tools and also the watermark embedded by the interpolator watermarking has the fragileness against the same attacks.

Key words: Watermarking(워터마킹), Robust(강인성), Fragile(연약성), 3D Animation Content(3D 애니메이션 콘텐츠)

1. 서 론

최근 컴퓨터 하드웨어 성능 및 그래픽스 기술 등

의 발달로 인하여 보다 자연스럽게 사실적인 3D 콘텐츠를 제작할 수 있게 되었다. 이와 더불어 웹, 모바일, 게임, 영화 등의 사용자들은 정지영상 및 비디오

※ 교신저자(Corresponding Author): 권기룡, 주소: 부산광역시 남구 대연3동 599-1(608-737), 전화: 051)629-6257, FAX: 051)629-6210, E-mail: krkwon@pknu.ac.kr
접수일: 2009년 3월 11일, 완료일: 2009년 4월 20일

[†] 정회원, 동명대학교 정보보호학과
(E-mail: skylee@tu.ac.kr)

^{**} 정회원, 삼성전자 무선통신사업부
(E-mail: seonggeunkwon@hanmail.net)

^{***} 종신회원, 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부
※ 본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역 혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

등의 기존 콘텐츠들보다 사실적인 3D 콘텐츠의 서비스를 많이 요구하고 있으며, 이들 콘텐츠의 시장성이 커지고 있다. 3D 콘텐츠들은 여러 가지 응용 분야에 따라 3D 그래픽 모델, 3D CAD, 3D 애니메이션 등의 데이터에 의하여 제작되어진다. 3D 콘텐츠 산업 발달과 더불어 저작권 보호 및 불법 복제 추적을 위한 3D 워터마킹 기술이 필요하게 되었다. 이와 같은 요구에 따라 3D 그래픽 모델 및 3D CAD 데이터에 대한 워터마킹 기술이 제안되어지고 있다.

3D 그래픽 모델에 대한 대표적인 워터마킹 방법으로 Ohbuchi 등[1]은 기하학적 및 위상학적 변형에 기반한 방법을 제안하였다. 또한 이들은 꼭지점들의 연결 정보에 의하여 정의된 라플라시안 행렬의 고유벡터에 투영함으로써 얻어지는 메쉬 분광 영역 상에서 워터마크를 삽입하였다[2]. Benedens[3]은 3차원 방향 히스토그램 분포 상에서 랜덤하게 선택된 방향에 속해 있는 메쉬 법선 벡터 분포에 워터마크를 삽입하는 방법을 제안하였다. Lee 등[4]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. 또한 이들은[5] 워터마킹 시스템의 조건들 중 견고성 및 비가시성에 대한 블록 집합을 설계한 후 3D 메쉬 모델의 꼭지점들을 이 두 집합들로 수렴 조건을 만족할 때 까지 반복 교대 투영하는 POCS (Projection onto Convex Sets) 방법을 제안하였다. Kim 등[6]은 고정된 연결정보를 가지는 3D 메쉬 모델 시퀀스에 대한 워터마킹 기법을 제안하였다. 제안한 방법에서는 동일한 연결성을 가지는 꼭지점 좌표값들을 시간축에 대하여 3D 웨이블릿 변환을 수행한 후, 고주파 성분을 가지는 프레임의 3D 웨이블릿 계수 분포에 워터마크를 삽입한다. 3D 메쉬 모델 시퀀스는 움직임 정보가 있는 3D 애니메이션 데이터와는 달리 3D 메쉬 정지 모델들을 연속적으로 나열한 것이다. 3D 영화, 3D 컴퓨터/모바일 게임, 3D 캐릭터 등에서 서비스되는 3D 애니메이션은 3D 공간 상에서 메쉬 또는 텍스처 등을 포함하는 움직이는 물체로 정의된다. 이는 3D 그래픽 모델와는 달리 움직이는 정보가 필요하다. 기존의 3D 워터마킹 기법들은 정지된 3D 메쉬 모델에 대한 저작권 보호 기술로서, 3D 키프레임 애니메이션에 적용되지 못한다. 본 연구진은 위치보간기 및 방향보간기 기반

의 3D 애니메이션 워터마킹 기법[7-11]을 제안하였으나, 이는 기하학적 공격에 취약한 단점을 가짐으로 강인성 워터마킹 기법에는 적합하지 않음을 확인하였다.

본 논문에서는 3D 애니메이션 데이터의 저작권 보호 및 인증을 위하여 기하학적 정보 기반의 강인성 워터마킹 기법과 위치 및 방향 보간기 기반의 연약성 워터마킹 기법을 제안한다. VRML[12]/MPEG4-BIFS[13,14] 기반의 3D 애니메이션 데이터는 부분 메쉬 모델을 나타내는 변환 노드들이 계층적으로 구성되어 있으며, 각 변환 노드들은 각 메쉬 모델들의 위치, 방향, 크기, 색깔 등의 속성을 시간에 따라 바꾸는 보간기 노드와 꼭지점 및 연결정보를 나타내는 기하학노드로 구성된다. 제안한 방법에서는 각 변환 노드 내의 꼭지점 거리 분포에 워터마크를 강인하게 삽입하며, 위치 및 방향 보간기의 킷값에 워터마크를 연약하게 삽입한다. 본 논문에서는 진자를 기하학적 워터마킹이라 하며, 후자를 보간기 워터마킹이라 부르기로 한다. 실험 결과로부터 제안한 기하학적 워터마킹 기법이 각종 기하학적 공격 및 타임라인 공격에 대하여 강인성을 가지며, 워터마크된 좌표값의 평균 PSNR이 35dB 이상임을 확인하였다. 또한 제안한 보간기 워터마킹 기법이 각종 공격에 대하여 연약성을 가졌으며, 워터마크된 킷값의 평균 PSNR이 45dB 이상임을 실험으로부터 확인하였다.

본 논문의 구성을 살펴보면, II장에서는 3D 키프레임 애니메이션에 대하여 간략히 살펴보고, 이들 데이터에 대한 워터마킹 이론에 대하여 살펴본다. 다음 III장에서는 제안한 기하학 및 보간기 워터마킹에 대하여 자세히 살펴봄, IV장에서는 실험을 통하여 제안한 방법의 성능 평가를 살펴보기로 한다. 마지막 V장에서는 본 논문의 결론을 맺기로 한다.

2. 3D 애니메이션 모델 구조

본 장에서는 3D 그래픽스 상에서의 3D 애니메이션 기법에 대하여 살펴본 후, VRML/MPEG-4 BIFS 기반의 3D 애니메이션 데이터 구조에 대하여 살펴본다. 그리고 이 데이터 구조에 워터마크를 삽입할 수 있는 대상체에 대하여 간략히 설명하기로 한다. VRML 기반의 3D 애니메이션 데이터에서는 여러 개의 변환 노드들이 부모 자식 관계의 계층적

구조로 구성되어 있다. Wailer 애니메이션 모델의 VRML 데이터 구조는 그림 1에서와 같이 계층적 구조를 나타낼 수 있다. 각 변환 노드들은 하나의 관절체를 나타내며, 이들은 실 좌표계에 대한 지역 좌표계를 나타내는 이동, 회전 및 스케일의 변환 노드 행렬, 보간기 노드 그리고 꼭지점 좌표와 연결성 정보로 이루어진 기하 형상 노드들에 의하여 정의되어진다.

변환 노드 행렬은 실 좌표계를 기준으로 각 계층 모델들의 좌표계가 얼마만큼 이동, 스케일 및 회전되었는지를 표현하는 것이다. 즉, 변환 노드 행렬은 전체 3D 모델의 실 좌표계에 대하여 각 계층 모델을 모델링하기 위한 지역 좌표계를 나타낸다. 지역 좌표계는 스케일, 회전 및 이동 행렬의 곱으로 표현되는 자식 노드의 변환 노드 행렬과 이를 상속한 부모 노드들의 변환 노드 행렬들로 나타낸다. 워터마크는 각 변환 노드의 이동, 스케일 및 회전 행렬에 삽입될 수 있다. 그러나 변환 노드 행렬은 각 계층 모델의 지역 좌표계를 나타내는 중요한 행렬로 움직임 정보 및 기하 형상에 영향을 미치며, 자손 노드의 변환 노드 행렬에도 영향을 미친다. 그러므로 변환 노드에 워터마크 삽입시 움직임 및 기하 형상에 대한 비가시성 및 자손 노드의 변환 노드 행렬의 변화를 고려하여야 한다. 또한 변환 노드 행렬의 정보가 작으므로 워터마크의 삽입 용량이 매우 제한적이다.

3D 물체의 움직임은 특정 시간의 키 (Key) 동안 여러 가지의 성질을 나타내는 키값 (Key Value)에 의하여 표현된다. VRML 및 MPEG-4 BIFS에서는 선형 키프레임 애니메이션으로 설계된 칼라, 좌표, 법선, 방향, 위치 및 스칼라의 보간기 노드들이 있다. 이들은 각 분할된 시간동안 보간 노드로 보내어지는 이벤트를 시간센서에 의하여 생성함으로써 3D 물체의 움직임을 조정한다. 대부분 키프레임 애니메이션은 위치보간기 및 방향보간기 노드로 구현될 수 있으며, 다른 보간기 노드에 비하여 움직임을 나타내는 매우 중요한 노드로 사용되는 횡수가 많다. 그러므로 워터마크는 보간기 노드 중 위치보간기 및 방향보간기 노드 내의 키 및 키값에 삽입되어야 한다. 보간기 노드들은 타임라인에 대한 공격에 대하여 이들 값들이 변경되므로 워터마크 삽입시 이들 공격에 대한 강인성을 고려하여야 한다. 여기서 3D 그래픽스에서 키는 워터마킹 시스템에서 워터마크 정보를 추출하

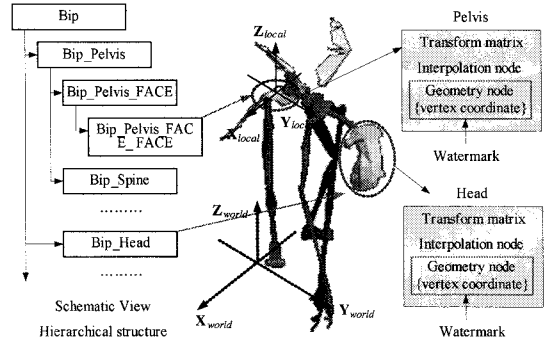


그림 1. Wailer VRML 애니메이션 데이터 상에서 계층 구조를 나타내는 개요도

기 위한 키와 동일한 단어로 사용되나 그 의미는 다르다. 따라서 본 논문에서는 이를 구별하기 위하여 3D 애니메이션의 키를 키타임(keyTime)으로 사용하기로 한다.

기하 형상 노드 내에는 꼭지점 좌표값 및 꼭지점들의 연결 정보인 기하학적 정보가 있으며, 이는 3D 그래픽 모델의 다각형 메쉬 (mesh) 표현 방법이다. 그리고 이들 정보들은 각 계층 모델의 초기 기하학적 정보로 보간기의 키값에 의하여 변환되어 렌더링된다. 기하 형상 노드 내의 꼭지점 좌표값 및 연결 정보에 워터마크를 삽입하는 방법은 3D 그래픽 메쉬 모델 워터마킹과 유사하다. 3D 그래픽 메쉬 모델에서는 계층 구조로 이루어져 있지 않으므로, 전체 형상의 구조에 대하여 워터마크가 삽입된다. 그러나 3D 애니메이션 모델에서는 계층 구조 내에서의 변환 노드 내에 이들 기하학적 정보가 있다. 따라서 3D 키프레임 애니메이션 워터마킹에서는 3D 그래픽 메쉬 모델와는 달리 계층 구조 내에서의 변환 모델을 각각 고려하여야 한다.

3. 제안한 기하학 및 보간기 워터마킹

본 논문에서는 3D 애니메이션의 강인성 및 연약성을 모두 가지는 기하학 및 보간기 워터마킹 기법을 제안한다. 강인성을 가지는 기하학 워터마킹 기법에서는 계층별 변환 노드 내에 기하형상 노드들의 구성 성분인 꼭지점 데이터들의 거리 분포에 강인한 워터마크 w_R 를 삽입한다. 연약성을 가지는 보간기 워터마킹 기법에서는 위치 및 방향 보간기 키값들의 변화 성분 분포에 연약한 워터마크 w_F 를 삽입한다.

3.1 기하학 기반의 강인성 워터마킹

제안한 기하학 워터마킹 기법의 워터마크 삽입 및 추출 과정은 그림 2에서와 같으며 이 두 과정은 유사하다. 워터마크 삽입 과정에서는 임의의 N_G 개 변환 노드 $TR_i = \{TR_i | i \in [1, N_G], N_G \leq N\}$ 들을 선택한 다음, 각 노드 TR_i 내에 꼭지점 데이터 V_i 의 정규화된 거리들을 N_w 개 구간 S_i 으로 분할한다. 그리고 분할된 구간 내의 정규화된 평균 거리에 워터마크 $w_R = \{w_i | i \in [1, N_G]\}$ 의 $w_i = \{w_{ij} | j \in [1, N_w]\}$ 비트들을 각각 삽입한다. 워터마크 추출 과정에서는 삽입 대상 변환 노드의 인덱스 정보 I 와 각 변환 노드 내의 거리 제한 범위 RK 를 이용하여 워터마크 w_R 를 추출한다.

3.1.1 워터마크 삽입

임의의 기하학 노드 G_i 내에 워터마크 삽입 과정은 그림 2에서와 같이 꼭지점 거리 정규화 및 거리 구간 분할과 분할된 구간 내의 꼭지점 평균 거리에 워터마크 삽입 단계로 구성된다.

제안한 방법에서는 우선 기하학 노드 G_i 내의 꼭지점 $V_i = \{v_{ik} | k \in [1, N_{G_i}]\}$ 들을 G_i 의 지역 좌표계 원점 o_i 에 대한 거리 $d_{ik} = \{d_{ik} = \|o_i - v_{ik}\| | k \in [1, N_{G_i}]\}$ 를 구한다.

그런 다음, 꼭지점 평균 거리 \bar{d}_i 가 1/2이 되도록 각 꼭지점 거리들을 $\hat{d}_i = \sum \hat{d}_{ik} / N_{G_i} = \frac{1}{2} = \frac{1}{2\bar{d}_i} \sum d_{ik} / N_{G_i}$, $\hat{d}_k = \frac{1}{2\bar{d}_i} d_k$ 정규화하여 정규화된 꼭지점 거리 $\hat{d}_i = \{\hat{d}_{ik} | k \in [1, N_{G_i}]\}$ 와 정규화된 꼭지점 $\hat{V}_i = \{\hat{v}_{ik} | k \in [1, N_{G_i}]\}$, $\hat{v}_{ik} = (1/2\bar{d}_i)v_{ik}$ 을 얻는다. 이 때 각 기하학 노드 G_i 내에 N_w 비트의 워터마크를 삽입하기 위하여 제안한 방법에서는 거리 제한 범위인 $RK_i = (Lc_i, Rc_i)$ 내에 속하는 정규화된 꼭지점 거리를 N_w 개의 구간 S_i

$$S_i = \{S_{ij} | j \in [1, N_w]\},$$

$$S_{ij} = \left\{ \hat{v}_{ij,k} | k \in [1, N_{G_i}] \right.$$

$$\left. \hat{r}_{ij,k} \in \left[Lc_i + j \frac{Rc_i - Lc_i}{N_w}, Lc_i + (j+1) \frac{Rc_i - Lc_i}{N_w} \right] \right\}$$

으로 분할한 다음, 각 구간 S_{ij} 내에 속하는 정규화된 꼭지점 거리들의 평균 \bar{d}_{ij} 을 구한다.

제안한 방법에서는 그림 3에서와 같이 워터마크 비트 w_{ij} ($i \in [1, N_G], j \in [1, N_w]$)를 각 구간 S_{ij} 내의 꼭지점 평균 거리 \bar{d}_{ij} 들을 목표 지점 $[T_{w_{ij}} - \epsilon_i, T_{w_{ij}} + \epsilon_i]$ 으로 이동함으로써

$$T_{w_{ij}} - \epsilon_i < \bar{d}_{ij} < T_{w_{ij}} + \epsilon_i$$

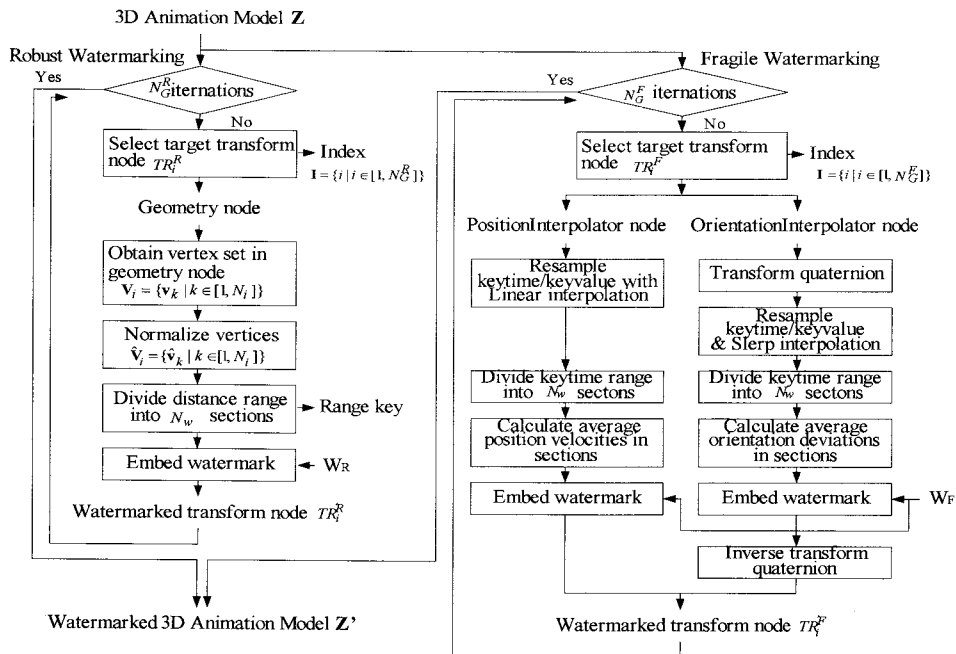


그림 2. 제안한 기하학 및 구간기 워터마킹 기법의 워터마크 삽입 과정

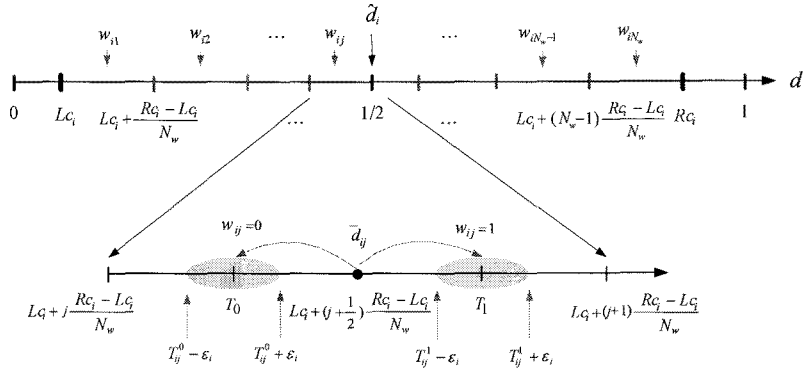


그림 3. 각 변환 노드의 정규화된 꼭지점 거리 분포 내에 N_w 비트 워터마크 삽입

$$T_{w_{ij}} = L_{G_i} + (j + \frac{1}{4}(2w_{ij} + 1)) \frac{R_{G_i} - L_{G_i}}{N_w}, \quad \epsilon_i = \frac{R_{G_i} - L_{G_i}}{8N_w}$$

와 같이 삽입한다. 여기서 $T_{w_{ij}}$ 는 w_{ij} 에 따른 왼쪽 또는 오른쪽 목표 지점의 기준점이다. 그리고 ϵ_i 는 목표 지점 영역을 나타내는 변수로 삽입 강도에 영향을 준다. 제안한 방법에서는 ϵ_i 를 왼쪽 및 오른쪽 구간 의 중간 구간인 $(R_{G_i} - L_{G_i})/8N_w$ 으로 선택하였다.

각 구간의 꼭지점 평균 거리 \bar{d}_{ij} 이 워터마크 비트 w_{ij} 에 따라 변경되기 위하여, 구간 S_{ij} 내에 속하는 모든 정규화된 꼭지점 거리들 $\hat{d}_{ij,k}$ 이 식 (2)의 삽입 조건에 따라 변경되어야 한다. 제안한 방법에서는 정규화된 꼭지점 거리 $\hat{d}_{ij,k}$ 에 워터마크 비트 w_{ij} 를

$$\check{d}_{ij,k} = \hat{d}_{ij,k} + (2w_{ij} - 1)a_{ij}\alpha_{ij,k} \quad (3)$$

와 같이 삽입하며, 식 (2)의 삽입 조건과 비가시성을 만족하도록 변수 a_{ij} 및 $\alpha_{ij,k}$ 를 결정한다.

첫 번째 변수 a_{ij} 는 구간 S_{ij} 의 삽입 강도 변수로서 식 (2)의 삽입 조건을 만족하도록 설정되어야 한다. 구간 S_{ij} 내에 워터마크된 꼭지점 평균 거리 \bar{d}_{ij} 은

$$\bar{d}_{ij} = \sum_{k=1}^{N_{G_i}} (\hat{d}_{ij,k} + (2w_{ij} - 1)a_{ij}\alpha_{ij,k}) / N_{G_i} \quad (4)$$

$$= \bar{d}_{ij} + (2w_{ij} - 1)a_{ij}\bar{\alpha}_{ij}$$

와 같으며, 식 (2)의 삽입 조건을 만족하기 위하여 구간 변수 a_{ij} 는 $[\frac{(T_{w_{ij}} - \epsilon_i) - \bar{d}_{ij}}{(2w_{ij} - 1)\bar{\alpha}_{ij}}, \frac{(T_{w_{ij}} + \epsilon_i) - \bar{d}_{ij}}{(2w_{ij} - 1)\bar{\alpha}_{ij}}]$ 의 범위를 가진다. 본 논문에서는 구간 변수 a_{ij} 를 위 범위의 중간값 $a_{ij} = \frac{2T_{w_{ij}} - \bar{d}_{ij}}{(2w_{ij} - 1)\bar{\alpha}_{ij}}$ 으로 결정하였다. 두 번째 변

수 $\alpha_{ij,k}$ 는 $\hat{d}_{ij,k}$ 의 정규화된 꼭지점 $\hat{v}_{ij,k}$ 의 비가시성을 고려한 국부 변수이다. 제안한 방법에서는 정규화된 꼭지점 $\hat{v}_{ij,k}$ 에 연결된 메쉬들의 법선 벡터 $\mathbf{n}_{ij,k,l}$ ($l \in [1, N_{ij,k}]$)를 고려하여 $\alpha_{ij,k}$ 를

$$\alpha_{ij,k} = b_{ij,k} \left(\frac{\bar{\theta}_{ij,k}}{\pi} \right)^2 \|\hat{v}_{ij,k} - \hat{c}_{ij,k}\| \quad (5)$$

와 같이 결정한다. $b_{ij,k}$ 는 정규화된 꼭지점 거리 $\hat{d}_{ij,k}$ 가 목표 지점 $[T_{w_{ij}} - \epsilon_i, T_{w_{ij}} + \epsilon_i]$ 에 있는지 여부에 따라 결정된다. 즉, $\hat{d}_{ij,k}$ 이 목표 지점 내에 있으면 $\hat{d}_{ij,k}$ 을 미세하게 변경하기 위하여 $b_{ij,k}$ 를 C/4으로 한다. 이와 반대로 $\hat{d}_{ij,k}$ 이 목표 지점 외에 있으면, 이를 목표 지점으로 크게 변경하기 위하여 $b_{ij,k}$ 를 C으로 한다. $\bar{\theta}_{ij,k}$ 는 그림 4에서와 같이 $\hat{v}_{ij,k}$ 와 이에 연결된 메쉬 법선 벡터 $\mathbf{n}_{ij,k,l}$ ($l \in [1, N_{ij,k}]$)와의 사이각 $\bar{\theta}_{ij,k} = \sum_{l=1}^{N_{ij,k}} \cos^{-1} \left(\frac{\hat{v}_{ij,k} \cdot \mathbf{n}_{ij,k,l}}{\|\hat{v}_{ij,k}\| \|\mathbf{n}_{ij,k,l}\|} \right) / N_{ij,k}$. 여기서 $N_{ij,k}$ 는 $\hat{v}_{ij,k}$ 에 연결된 메쉬의 개수를 나타낸다. 식 (5)의 $\hat{c}_{ij,k}$ 는 직선 $L_{ij,k}$ 및 평면 $P_{ij,k}$ 와의 교점이다. 여기서 직선 $L_{ij,k}$ 는 지역 원점 \mathbf{o}_i 과 $\hat{v}_{ij,k}$ 를 지나는 직선이고 평면 $P_{ij,k}$ 는 $\hat{v}_{ij,k}$ 에 연결된 꼭지점들 $\hat{v}_{ij,k,l} (l \in [1, N_{ij,k}])$ 의 평균점 $\mathbf{c}_{ij,k} = \sum_{l=1}^{N_{ij,k}} \hat{v}_{ij,k,l} / N_{ij,k}$ 을 포함하고, 법선벡터가 $\mathbf{c}_{ij,k}$ 의 단위 벡터인 평면이다. 그러므로 직선 $L_{ij,k}$ 및 평면 $P_{ij,k}$ 와의 교점 $\hat{c}_{ij,k}$ 는 $\hat{c}_{ij,k} = \gamma_{ij,k} \hat{v}_{ij,k}$, $\gamma_{ij,k} = \frac{\mathbf{c}_{ij,k} \cdot \hat{v}_{ij,k}}{\|\mathbf{c}_{ij,k}\| \|\hat{v}_{ij,k}\|}$ 이다. 따라서 워터마크가 삽입된 정규화된 거리 $\hat{d}_{ij,k}$ 를 가지는 정규화된 꼭지점 $\hat{v}_{ij,k}$ 는 $\hat{v}_{ij,k} = \beta_{ij,k} \hat{v}_{ij,k}$, $\beta_{ij,k} = \hat{d}_{ij,k} / \|\hat{v}_{ij,k}\|$ 와 같다. 이를 역정규화함으로써 최종적으로 워터마크된 꼭지점 $\hat{v}_{ij,k}$ 를 $\hat{v}_{ij,k} = 2\bar{d}_{ij} \beta_{ij,k} \hat{v}_{ij,k}$ 와

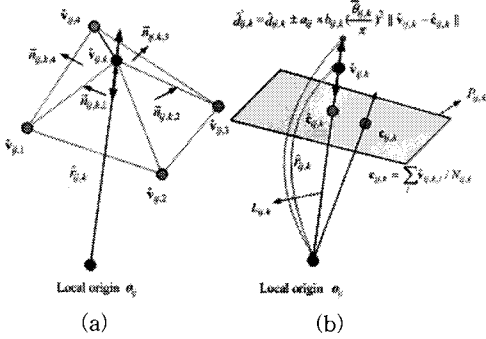


그림 4. (a) 정규화된 꼭지점 \hat{v}_{ijk} 에 연결된 매쉬 법선 벡터 $n_{ij,k,l} \in [1, N_{ij,k}]$ 및 (b) 지역 원점과 \hat{v}_{ijk} 를 지나는 직선 $L_{ij,k}$ 과 평면 $P_{ij,k}$ 와의 교점 \hat{c}_{ijk}

같이 얻는다. 제안한 방법에서는 이와 같은 방법으로 각 구간 $S_i = \{S_{ij} | j \in [1, N_w]\}$ 내에 N_w 비트 워터마크 $w_i = \{w_{ij} | j \in [1, N_w]\}$ 를 삽입하며, 이를 N_C 개 기하학 노드에 반복적으로 수행함으로써 $N_C \times N_w$ 비트의 워터마크를 삽입한다.

3.1.2 워터마크 추출

제안한 워터마크 추출 방법에서는 워터마크 삽입 과정에서 저장된 삽입 대상 변환 노드의 인덱스 정보 $I = \{i | i \in [1, N_C]\}$ 와 변환 노드 내의 거리 제한 범위 RK 를 이용하여 $N_C \times N_w$ 비트의 워터마크를 추출한다. 즉, 임의의 삽입 대상 기하학 노드 G_i^* 내에 모든 꼭지점 거리들을 정규화한 다음, 거리 제한 범위 $RK_i = (Lc_i, Rc_i)$ 내의 거리를 N_w 개의 구간 $S_i = \{S_{ij} | j \in [1, N_w]\}$ 으로 분할한다. 각 구간 내에 속하는 정규화된 꼭지점 거리들의 평균 \tilde{d}_{ij} ($i \in [1, N_C]$, $j \in [1, N_w]$)에 따라 워터마크 비트 w_{ij}^* 를

$$w_{ij}^* = \begin{cases} 0, & \text{if } Lc_i + j\delta_i \leq \tilde{d}_{ij} \leq Lc_i + (j+1/2)\delta_i \\ 1, & \text{if } Lc_i + (j+1/2)\delta_i \leq \tilde{d}_{ij} \leq Lc_i + (j+1)\delta_i \end{cases} \quad (6)$$

where $\delta_i = \frac{Rc_i - Lc_i}{N_w}$

와 같이 추출한다. 이와 같은 방법으로 N_C 개의 기하학 노드들 상의 N_w 개의 구간 내에 워터마크 비트 $w_R^* = \{w_i^* | i \in [1, N_C]\}$, $w_i^* = \{w_{ij}^* | j \in [1, N_w]\}$ 를 모두 추출한다.

3.2 보간기 기반의 연약성 워터마크

제안한 연약성 워터마크 기법에서는 그림 2에서와

같이 위치 및 방향 보간기 노드 내의 위치 변화율과 회전 변화율을 이용하며, 워터마크 삽입 및 추출 과정은 유사하다. 워터마크 삽입 과정에서는 N_C 개의 변환 노드 $TR_i = \{TR_i | i \in [1, N_C]\}$ 를 선택하고, 각 변환 노드 TR_i 내에 위치 및 방향 보간기 노드의 키타입과 킷값을 일정 시간으로 재배열한다. 그리고 N_w 개 구간으로 킷타임을 분할한 후, 각 구간의 평균 위치 및 회전 변화율에 워터마크 비트 w_{ij} ($i \in [1, N_C]$, $j \in [1, N_w]$)를 삽입한다. 워터마크 추출 과정에서는 삽입 대상 변환 노드의 인덱스 정보 I 를 이용하여 $N_C \times N_w$ 비트의 워터마크 $w_F = \{w_i | i \in [1, N_C]\}$, $w_i = \{w_{ij} | j \in [1, N_w]\}$ 를 추출한다.

3.1.1 워터마크 삽입

임의의 변환 노드 TR_i 의 위치 및 방향 보간기 노드 내에 워터마크 삽입 과정은 그림 2에서와 같이 선형 보간기 및 Slerp 보간기 기반의 킷타입/킷값 재배열, 킷타입 구간 분할, 워터마크 삽입 단계로 구성된다.

1) 킷타입/킷값 재배열

변환 노드 TR_i 의 위치 보간기 노드 $PI_i = \{T_i^{PI}, P_i\}$ 내에는 N_{PI} 개의 킷타입 $T_i^{PI} = \{t_{in}^{PI} | n \in [1, N_{PI}]\}$ 과 위치 킷값 $P_i = \{p_{in} | n \in [1, N_{PI}]\}$ 으로 구성되며, 방향 보간기 노드 $OI_i = \{T_i^{OI}, R_i\}$ 내에는 N_{OI} 개의 킷타입 $T_i^{OI} = \{t_{in}^{OI} | n \in [1, N_{OI}]\}$ 과 킷값 $R_i = \{r_{in} | n \in [1, N_{OI}]\}$ 으로 구성된다. 여기서 위치, 방향 킷타입 T_i^{PI} 및 T_i^{OI} 의 간격이 일정하지 않으므로, 워터마크 추출시 워터마크가 삽입된 킷타임을 찾는 과정이 복잡하게 된다. 따라서 제안한 방법에서는 T_i^{PI} 및 T_i^{OI} 이 동일한 일정 시간 $\Delta t = T_m/N_s$ 의 킷타임을

$$T_i = T_i^{PI} = T_i^{OI} \quad (7)$$

$$T_i = \{t_{ik} | k \in [1, N_{TR}], t_{ik} = k \times (T_m/N_s), 0 \leq t_{ik} \leq T_m\},$$

가지고, 이에 대한 킷값을 재배열하기 위한 과정을 수행한다. 여기서 T_m 은 애니메이션 킷타입의 최대 시간을 나타내며, N_s 는 샘플링 시간이다. N_{TR} 는 재배열된 킷타입의 개수를 나타낸다.

위치 보간기 노드 경우에는 위의 킷타입에 대한 킷값을 선형 보간기에 의하여

$$\hat{P}_i = \{P_{ik} = (x_{ik}, y_{ik}, z_{ik}) | k \in [1, N_{TR}]\}, \quad (8)$$

$$p_{ik} = \text{linterp}(t_{ik}; p_{\in}, p_{\in+1}) = p_{\in} + \frac{p_{\in+1} - p_{\in}}{t_{\in+1} - t_{\in}}(t_{ik} - t_{\in})$$

와 같이 재배열한다. 방향 보간기 노드 경우에는 오일러 표현보다 쿼터니언 표현에 의한 Slerp 보간이 일반적이다. 따라서 제안한 방법에서는 킷값 $R_k = \{r_{in} = (x_{in}, y_{in}, z_{in}, \theta_{in}) | n \in [1, N_{Or}]\}$ 을 쿼터니언 $Q_{\in} = \{q_{\in} = (\cos \theta_{\in}, x_{\in} \sin \frac{\theta_{\in}}{2}, y_{\in} \sin \frac{\theta_{\in}}{2}, z_{\in} \sin \frac{\theta_{\in}}{2}) | n \in [1, N_{Or}]\}$ 로 변경한 후, 이를 Slerp 보간에 의하여

$$\hat{Q}_{\in} = \{q_k | k \in [1, N_{TR}]\}, \tag{9}$$

$$\begin{cases} q_k = \text{slerp}(t_{ik}; q_n, q_{n+1}), & t_{in} < t_{ik} < t_{in+1} \\ q_k = q_n, & t_{ik} = t_{in} \end{cases}$$

$$\text{slerp}(t_{ik}; q_n, q_{n+1}) = \frac{q_n \sin((1-t)\theta) + q_{n+1} \sin(t\theta)}{\sin \theta}$$

와 같이 재배열한다. 본 논문에서는 간단한 표기를 위하여 재배열된 쿼터니언 \hat{Q} 를 $\varphi_{ik} = \cos \theta_{ik}$, $x_{ik} = x_{ik} \sin(\theta_{ik}/2)$, $y_{ik} = y_{ik} \sin(\theta_{ik}/2)$, $z_{ik} = z_{ik} \sin(\theta_{ik}/2)$ 로 두기로 한다.

2) 구간 분할

제안한 방법에서는 킷타임 및 킷값을 재배열한 후, 그림 5에서와 같이 킷타임 T의 구간 $[0, T_m]$ 을 워터마크 삽입 비트수인 N_w 개의 구간 $S_i = \{S_{ij} | j \in [1, N_w]\}$ 으로 분할한다. 각 구간 S_{ij} 에는 킷타임 구간 $[jT_m/N_w, (j+1)T_m/N_w]$ 에 대한 위치 킷값 $p_{i,j,k}$ 및 방향 킷값 $q_{i,j,k}$ 을

$$S_{ij} = \left\{ p_{i,j,k}, q_{i,j,k} \mid j \frac{T_m}{N_w} \leq t_{i,j,k} \leq (j+1) \frac{T_m}{N_w}, k \in [1, N_{TR_k}] \right\} \tag{10}$$

와 같이 포함한다. 여기서 N_{TR_k} 는 구간 S_{ij} 에 속한 킷값의 개수이다. 각 구간 내에 위치 변화를 $\delta p_{i,j,k \in [1, N_{TR_k}]}$ 및 회전 변화를 $\delta q_{i,j,k \in [1, N_{TR_k}]}$ 을

$$\delta p_{i,j,k} = \frac{\|p_{i,j,k} - p_{i,j,k-1}\|}{\Delta t} \tag{11}$$

$$\delta q_{i,j,k} = \frac{|\varphi_{i,j,k} - \varphi_{i,j,k-1}|}{\Delta t} = \frac{|\cos \theta_{i,j,k} - \cos \theta_{i,j,k-1}|}{\Delta t} \tag{12}$$

와 같이 각각 구한다. 그리고 구간 S_{ij} 를 다시 중간 킷타임 $(j+1/2)T_m/N_w$ 을 기준으로 좌 구간 $[jT_m/N_w, (j+1/2)T_m/N_w]$ 및 우 구간 $[(j+1/2)T_m/N_w, (j+1)T_m/N_w]$ 으로 나눈 후, 좌우 구간에 속하는 평균 위치 변화율 $\bar{\delta p}_{ij}^l$ 및 $\bar{\delta p}_{ij}^r$ 와 평균 회전 변화율 $\bar{\delta q}_{ij}^l$ 및 $\bar{\delta q}_{ij}^r$ 을 각각 구한다.

3) 워터마크 비트 삽입

제안한 방법에서는 워터마크 비트 w_{ij} ($i \in [1, N_C]$, $j \in [1, N_w]$) 를 S_{ij} 의 좌, 우 구간에 대한 평균 위치 변화율 차이 및 평균 회전 변화율 차이가 $|\bar{\delta p}_{ij}^l - \bar{\delta p}_{ij}^r| > \epsilon$, $|\bar{\delta q}_{ij}^l - \bar{\delta q}_{ij}^r| > \epsilon$ 되도록 두 평균 변화율들을 변경한다. 문턱치 ϵ 는 비가시성과 연약성의 정도를 나타내는 변수이다. 본 논문에서는 워터마크 비트에 따른 평균 위치 변화율 및 평균 회전 변화율 변경 과정은 유사하며, 우선 위치 변화율에 대한 워터마크 비트 삽입 과정을 먼저 살펴본 다음 회전 변화율에 대하여 살펴보기로 한다.

제안한 방법에서는 좌, 우 평균 위치 변화율 $\bar{\delta p}_{ij}^l$ 및

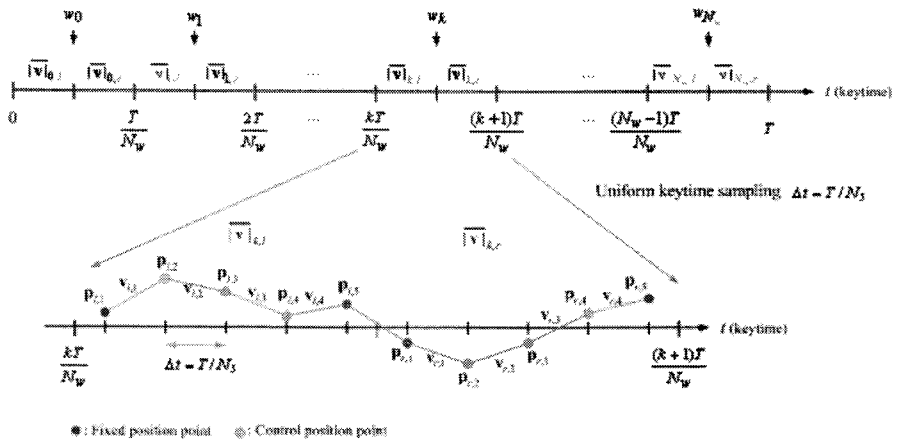


그림 5. 일정 시간으로 재배열된 킷타임의 구간 분할 및 구간 내에 위치 변화율

$\overline{\delta p}_{ij}^r$ 을 워터마크 비트 w_{ij} 에 따라 하한 기준치 $T_{ij}^L = (\overline{\delta p}_{ij}^l + \overline{\delta p}_{ij}^r + \epsilon)/2 = m_{ij} + \epsilon/2$ 및 상한 기준치 $T_{ij}^H = (\overline{\delta p}_{ij}^l + \overline{\delta p}_{ij}^r - \epsilon)/2 = m_{ij} - \epsilon/2$ 를 기준으로 변경한다. 즉, 워터마크 비트 $w_{ij} = 0$ 일 때 $\overline{\delta p}_{ij}^l - \overline{\delta p}_{ij}^r < \epsilon$ 일 경우에만 $\overline{\delta p}_{ij}^l > T_{ij}^L$ 및 $\overline{\delta p}_{ij}^r < T_{ij}^H$ 되도록 좌우 평균 위치 변화율을 변경하고, 워터마크 비트 $w_{ik} = 1$ 일 때는 반대인 $\overline{\delta p}_{ik}^l - \overline{\delta p}_{ik}^r < \epsilon$ 일 경우에만 $\overline{\delta p}_{ik}^r < T_{ij}^H$ 및 $\overline{\delta p}_{ik}^l > T_{ij}^L$ 되도록 변경한다. 이를 간단히 정리하면, 변위 $\alpha_{ij,k}$ 에 따라 변경된 위치 변화율 $\delta p'_{ij,k}$ 은

$$\delta p'_{ij,k} = \delta p_{ij,k} + \alpha_{ij,k}, \quad (13)$$

$$\frac{\|p'_{ij,k} - p_{ij,k-1}\|}{\Delta t} = \frac{\|p_{ij,k} - p_{ij,k-1}\|}{\Delta t} + \alpha_{ij,k}$$

와 같으며, 변위 $\alpha_{ij,k}$ 는 위치 키타입 $t_{ij,k}$ 이 속하는 좌,우 구간과 워터마크 $w_{ij,k}$ 에 따라

$$\alpha_{ij,k} = \begin{cases} (1-2w_{ij})\beta_{ij,k}|\delta p_{ij,k} - (m_{ij} + (1-2w_{ij})\frac{\epsilon}{2})|, & \text{If } t_{ij,k} \in [jT_m/N_w, (j+1/2)T_m/N_w] \\ (2w_{ij}-1)\beta_{ij,k}|\delta p_{ij,k} - (m_{ij} + (2w_{ij}-1)\frac{\epsilon}{2})|, & \text{If } t_{ij,k} \in [(j+1/2)T_m/N_w, (j+1)T_m/N_w] \end{cases} \quad (14)$$

와 같다. 위치 변화율 $\delta p_{ij,k}$ 은 위치 킷값 $p_{ij,k}$ 에 의하여 변경이 가능하다. 제안한 방법에서는 워터마크된 위치 킷값 $p'_{ij,k}$ 를 얻기 위하여 킷값의 각 성분 변화율을 상수 a 에 따라 $\delta p'_{ij,k} = a\delta p_{ij,k}$ 와 같이 두기로 한다. 이 때 $a\delta p_{ij,k} = \delta p_{ij,k} + \alpha_{ij,k}$ 이므로 $a = 1 + \frac{\alpha_{ij,k}}{\delta p_{ij,k}}$ 이 된다. 따라서 워터마크된 위치 킷값 $p'_{ij,k}$ 은 $p_{ij,k} = p_{ij,k} + (1 + \frac{\alpha_{ij,k}}{\delta p_{ij,k}})(p_{ij,k} - p_{ij,k-1})$ 와 같이 된다. 제안한 방법에서는 비가시성을 유지하기 위하여 위치 킷값 $p_{ij,k}$ 의 변경 범위를

$$p'_{ij,k} \leq \gamma p_{ij,k} + (1-\gamma)m_{ij,k}, \quad m_{ij,k} = \frac{p_{ij,k} + p_{ij,k-1}}{2} \quad (15)$$

으로 제한한다. 따라서 워터마크 삽입 조건과 비가시성에 만족하는 워터마크된 위치 킷값 $p'_{ij,k}$ 은

$$p'_{ij,k} = \begin{cases} \gamma p_{ij,k} + (1-\gamma)m_{ij,k} & \text{If } p_{ij,k} > \gamma p_{ij,k} + (1-\gamma)m_{ij,k} \\ p_{ij,k} & \text{If } p_{ij,k} \leq \gamma p_{ij,k} + (1-\gamma)m_{ij,k} \end{cases} \quad (16)$$

와 같다.

회전 변화율에 대한 워터마크 비트 삽입은 위의 위치 변화율 삽입 방법과 유사하다. 즉, 워터마크 비트 $w_{ij}(j \in [1, N_w])$ 는 각 구간 $S_{ij}(j \in [1, N_w])$ 의 좌,우 평

균 회전 변화율에 삽입된다. 각 평균 회전 변화율 $\overline{\delta q}_{ij}^l$ 및 $\overline{\delta q}_{ij}^r$ 이 변경되기 위하여 각 회전 변화율 $\delta q_{ij,k}$ 이 워터마크 비트 w_{ij} 에 따라

$$\delta q'_{ij,k} = \delta q_{ij,k} + \alpha_{ij,k} \quad (17)$$

$$\frac{|\varphi'_{ij,k} - \varphi_{ij,k-1}|}{\Delta t} = \frac{|\varphi_{ij,k} - \varphi_{ij,k-1}|}{\Delta t} + \alpha_{ij,k}, \quad \varphi_{ij,k} = \cos \theta_{ij,k}$$

와 같이 변경된다. 제안한 방법에서는 이를 간단히 풀기 위하여 $\varphi'_{ij,k} - \varphi_{ij,k-1} = a(\varphi_{ij,k} - \varphi_{ij,k-1})$ 로 두며 이때 $a = 1 + \alpha_{ij,k}/\delta q_{ij,k}$ 이므로 $\varphi'_{ij,k} = \varphi_{ij,k-1} + (1 + \frac{\alpha_{ij,k}}{\delta q_{ij,k}})(\varphi_{ij,k} - \varphi_{ij,k-1})$ 이다. 회전 성분의 비가시성을 유지하기 위하여 위치 변화율의 제한 범위와 유사하게

$$\varphi'_{ij,k} \leq \gamma \varphi_{ij,k} + (1-\gamma)m_{ij,k}, \quad m_{ij,k} = \frac{\varphi_{ij,k} + \varphi_{ij,k-1}}{2} \quad (18)$$

으로 제한한다. 따라서 워터마크된 회전 성분 $\varphi'_{ij,k}$ 는

$$\varphi'_{ij,k} = \begin{cases} \gamma \varphi_{ij,k} + (1-\gamma)m_{ij,k} & \text{if } \varphi_{ij,k} > \gamma \varphi_{ij,k} + (1-\gamma)m_{ij,k} \\ \varphi_{ij,k} & \text{if } \varphi_{ij,k} \leq \gamma \varphi_{ij,k} + (1-\gamma)m_{ij,k} \end{cases} \quad (19)$$

와 같다. 방향 보간기의 쿼터니언 성분 $\mathbf{q}_{j,k}$ 는 단위 벡터이다. 그러나 워터마크된 회전 성분 $\varphi'_{ij,k}$ 에 의하여 쿼터니언 성분 $\mathbf{q}'_{ij,k}$ 은 단위 벡터가 아니므로, 이를 단위 벡터로 재구성한다. 모든 구간 $S_i = \{S_{ij}|j \in [1, N_w]\}$ 내에 워터마크 $w_i = \{w_{ij}|j \in [1, N_w]\}$ 가 삽입된 쿼터니언 성분 $\mathbf{q}'_{j,k}(j \in [1, N_w], k \in [1, N_{TR}])$ 들을 얻은 후에 이를 모두 역변환하여 워터마크된 방향 킷값 $r'_{ij,k}(j \in [1, N_w], k \in [1, N_{TR}])$ 들을 얻는다. 이와 같은 방법으로 N_G 개의 위치 및 방향 보간기 노드에 반복적으로 수행함으로써 $N_G \times N_w$ 비트의 워터마크를 삽입한다.

3.2.2 워터마크 추출

워터마크 추출에서는 워터마크 삽입 과정에서 저장된 삽입 대상 노드의 인덱스 정보 $I = \{i|i \in [1, N_G]\}$ 를 이용하여 $N_G \times N_w$ 비트의 워터마크 $\mathbf{w}_R = \{w_i|i \in [1, N_G]\}$, $w_i = \{w_{ij}|j \in [1, N_w]\}$ 를 추출한다. 즉, 추출 과정에서는 삽입 대상의 위치 보간기 노드 \mathbf{PI}_i^* 내에 위치킷값 \mathbf{P}_i^* 및 킷타임 \mathbf{T}_i^{PR} 과 방향 보간기 노드 \mathbf{OI}_i^* 내에 방향킷값 \mathbf{R}_i^* 과 킷타임 \mathbf{T}_i^{OR} 을 N_{TR} 개의 킷타임으로 각각 재배열한 다음, N_w 개의 구간 $S_i = \{S_{ij}|j \in [1, N_w]\}$ 으로 분할한다. 그리고 각 구간 S_{ij} 내에 좌,우 구간에 대한 평균 위치변화율 차이 및 평

균 회전변화율에 따라 워터마크 비트 w_{ij}^{PF} 및 w_{ij}^{OR}

$$w_{ij}^{PF} = \begin{cases} 0, & \text{if } \overline{\delta p_{ij}^{*l}} > \overline{\delta p_{ij}^{*r}} \\ 1, & \text{if } \overline{\delta p_{ij}^{*l}} < \overline{\delta p_{ij}^{*r}} \end{cases}, \quad w_{ij}^{OR} = \begin{cases} 0, & \text{if } \overline{\delta q_{ij}^{*l}} > \overline{\delta q_{ij}^{*r}} \\ 1, & \text{if } \overline{\delta q_{ij}^{*l}} < \overline{\delta q_{ij}^{*r}} \end{cases} \quad (20)$$

를 추출한다. 이와 같은 과정에 의하여 위치 보간기 노드 및 방향 보간기 노드 상의 워터마크 w_F^{PF} 및 w_F^{OR} 를 각각 구한다. 보간기 노드 상에 추출된 워터마크 w_F^{PF} 및 w_F^{OR} 가 모두 오류없이 추출될 경우에 사용자 또한 3D 애니메이션 모델을 인증한다.

4. 실험 결과

본 논문에서 제안한 방법의 성능 평가를 위하여 3DS-MAX에서 제공하는 Wailer, Ninja, Bomb 및 Boxbody 애니메이션 모델들을 VRML 데이터로 변환하여 이를 테스트 모델로 사용하였다. 각 테스트 모델은 그림 6에서와 같으며 표 1에서와 같이 다양한 변환 노드들로 구성된다. 기하학 워터마킹에서는 변환노드들이 많이 분포되어 있는 Wailer 모델에서는 21개의 기하학노드를 선택하고, 나머지 모델에서는 모든 기하학노드를 선택하여 각각의 기하학노드 내에 2비트씩 워터마크를 삽입하였다. 그리고 보간기 워터마킹에서는 동일한 개수의 위치보간기노드와 방향보간기노드를 선택하여 각각의 보간기노드내에 10비트씩 워터마크를 삽입하였다. 따라서 기하학 워터마킹에서 강인하게 삽입되는 워터마크 w_R 는 저작권 보호 및 소유권 주장을 위하여 사용되는 정보이고, 보간기 워터마킹에서 연약하게 삽입되는 워터마크 w_F 는 콘텐츠 또는 소유자 인증을 위하여 사용되는 정보이다. 본 실험에서는 객관적 및 주관적 화질에 대한 비가시성과 3D 편집툴 상의 다양한 공격에 대한 강인성 및 연약성을 평가하였다.

표 1. 테스트 애니메이션 모델 구조

테스트 모델	변환 노드	기하 노드	위치 보간기 노드	방향 보간기 노드	w_R 비트수	w_F 비트수
Wailer	76	58	70	102	42	400
Ninja	19	19	19	19	38	100
Bomb	17	17	9	9	34	50
Boxbody	10	12	5	5	20	30

4.1 비가시성 평가

본 실험에서는 비가시성의 화질척도로 워터마크가 삽입된 노드별 구성성분에 대한 평균 PSNR

$$PSNR = \sum_{i=1}^{N_G} PSNR_i = \sum_{i=1}^{N_G} (10 \log_{10} \frac{MAX_i^2}{MSE_i}) / N_G \quad (21)$$

을 사용하였다. 여기서 MAX_i 및 MSE_i 는 기하학노드, 위치보간기노드 및 방향보간기노드 별로 다르게 계산되어진다. 즉, 기하학노드에서는 z_{ij} 가 꼭지점 v_{ij} 이고, o_i 가 지역좌표계의 원점이다. 따라서 기하학노드에서의 MAX_i 는 꼭지점들 중 지역원점과의 최대 거리를 나타내며, MSE_i 는 워터마크된 꼭지점 v_{ij} 과 원 꼭지점 v_{ij} 와의 거리 MSE(Mean Squared Error)이다. 위치보간기노드에서는 z_{ij} 가 위치킷값 p_{ij} 이고, o_i 가 변환행렬의 위치 초기값 p_i 이다. 따라서 위치보간기노드에서의 MAX_i 는 위치킷값들 중 위치 초기값 p_i 과의 최대 거리를 나타내며, MSE_i 는 워터마크된 위치킷값 p'_{ij} 과 원 위치킷값 p_{ij} 와의 MSE이다. 마지막으로 방향보간기노드에서는 z_{ij} 가 방향킷값 r_{ij} 이고, o_i 가 변환행렬의 방향 초기값 r_i 이다. 따라서 방향보간기노드에서의 MAX_i 는 방향킷값들 중 방향 초기값 r_i 과의 최대 거리를 나타내며, MSE_i 는 워터마크된 방향킷값 r'_{ij} 과 원 방향킷값 r_{ij} 와의 MSE이다.

각 테스트 모델별로 워터마크된 기하학노드, 위치보간기노드 및 방향보간기노드별 평균 PSNR은 표 2에서와 같다. 이 표에서 살펴보면 강인성 워터마킹인 기하학 노드에서는 약 31.60-35.70dB이며, 연약성 워터마킹인 보간기노드에서는 약 38.01-42.16dB이다. 또한 본 실험에서는 워터마크된 테스트 애니메이션 모델을 주관적으로 판단하였다. 주관적 화질 평가 실험으로부터 모델이 형상과 프레임별 움직임이 원 모델과 차이가 없음을 확인하였다.

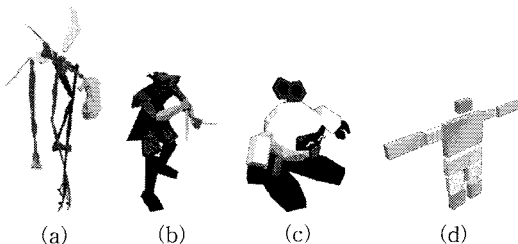


그림 6. 본 실험에 사용된 (a) Wailer, (b) Ninja, (c) Bomb 및 (d) Boxbody 모델의 첫 번째 프레임

표 2. 각 노드별 평균 PSNR(dB)

테스트모델	기하학 노드	위치보간기 노드	방향보간기 노드
Wailer	31.60	38.22	38.01
Ninja	35.70	42.09	41.12
Bomb	36.28	42.16	42.03
Boxbody	35.13	40.73	39.80

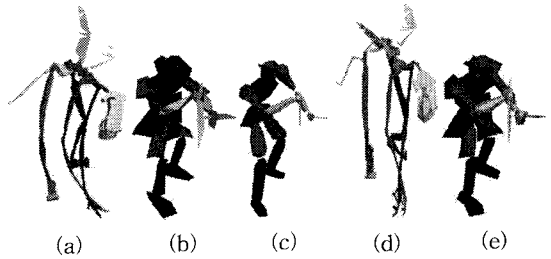


그림 7. (a) z축으로 100° 구부러진 Wailer 모델, (b) 잡음 세기가 30인 Ninja 모델, (c) 0.5 세기로 완성된 Ninja 모델, (d) 30 세기로 리플된 Wailer 모델, (e) 몽롱화된 Ninja 모델

4.2 강인성 및 연약성 평가

본 실험에서는 3D 편집툴을 이용하여 기하학 워터마킹에서 삽입된 워터마크 w_R 의 강인성과 보간기 워터마킹에서 삽입된 워터마크 w_F 의 연약성을 평가 하였으며, 추출된 워터마크 w_R^* 및 $w_F^* = (w_F^{OI} + w_F^{PI})/2$ 의 비트 에러율(BER, bit error rate)로 측정하였다. 이 때 사용되는 공격 형태들은 모든 객체에 대하여 사용되었으며, 이들 공격들에 의하여 모델의 기하 형상이 바뀌어지고 형상에 따라 각 보간기의 킷타임별 킷값들이 변경된다. 그림 8에서는 위의 공격에 의하여 추출된 워터마크 w_R^* 및 w_F^* 의 BER을 보여준다.

워터마크된 모델들을 구부린 후, 워터마크를 추출하였다. z축을 기준으로 100° 방향으로 구부러진 Wailer 모델은 그림 7 (a)에서와 같다. 구부림 실험 결과인 그림 8 (a)를 살펴보면, 구부림 각도가 40°일 때부터 w_R 의 BER이 발생되며, 100°일 때 까지 w_R 의 BER이 0.131-0.200임을 볼 수 있다. 그러나 연약한 워터마크인 w_F 의 BER은 5°일 때부터 발생되며, 10°일 때부터 20%이상 BER이 발생됨을 볼 수 있다.

1) 구부림 공격

구부림 실험에서는 z축을 기준으로 각도 θ 에 따라

2) 잡음 공격

잡음 실험에서는 각 축 상에서 동일한 잡음 세기에

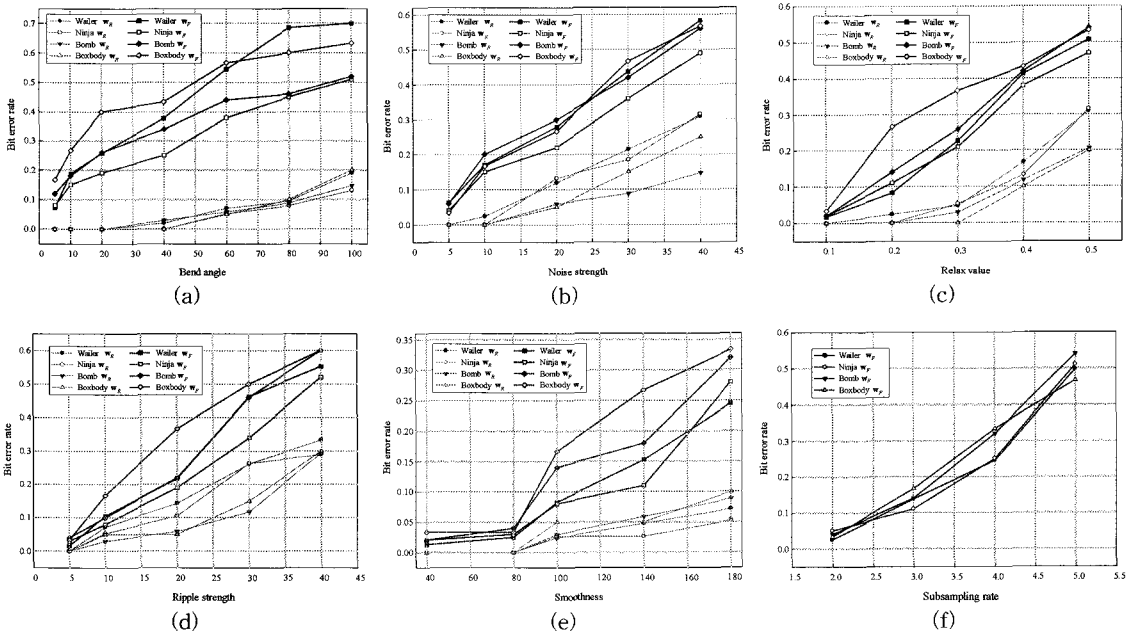


그림 8. (a) 구부림, (b) 잡음, (c) 완화, (d) 리플, (e) 몽롱화 및 (f) 킷타임 부표본화에 대하여 추출된 워터마크 w_R^* 및 w_F^* 의 BER

따라 모델의 형상을 불규칙하게 만든 후, 워터마크를 추출하였다. 모든 축 상에 30의 세기를 가지는 잡음이 첨가된 Ninja 모델은 그림 7 (b)에서와 같다. 잡음 실험 결과인 그림 8 (b)를 살펴보면, 잡음 세기가 20 이상일 때부터 강한 워터마크 w_R^* 의 BER이 약 0.050-0.132 정도 나타나며, 40일 때 약 0.147-0.310 정도 나타남을 볼 수 있다. 즉, 40일 때까지 워터마크의 70% 이상 검출됨을 알 수 있다. 연약 워터마크 w_F^* 의 BER은 잡음 세기가 5일 때부터 발생되며, 30일 때 워터마크의 50% 오류가 발생됨을 볼 수 있다.

3) 완화 공격

완화 실험에서는 각 변환노드 객체의 경계점을 유지하면서, 모든 객체들을 정도에 따라 완화(줄임)한 후, 워터마크를 추출하였다. 0.5 세기로 완화된 Ninja 모델은 그림 7 (c)에서와 같다. 완화 실험 결과인 그림 8 (c)를 살펴보면, w_R^* 의 BER은 완화값이 0.3일 때부터 약 0.029-0.053정도 발생되며, 완화값이 0.5일 때 약 0.200-0.316임을 볼 수 있다. 그러나 w_F^* 의 BER은 완화값이 0.1일 때부터 약 0.020-0.033정도 발생되며, 0.5일 때 약 0.5를 넘는 것을 볼 수 있다.

4) 리플 공격

리플 실험에서는 동일한 물결 길이에서 물결 세기에 따라 모든 변환노드 객체들을 리플한 후, 워터마크를 추출하였다. 물결 세기가 30인 Wailer 모델은 그림 7 (d)에서와 같다. 리플 실험 결과인 그림 8 (d)에서와 같이, w_R^* 의 BER은 물결 세기가 10일 때 약 0.029-0.071정도이며, 40일 때 약 0.289-0.300정도이다. 이는 물결 세기가 40일 때까지는 워터마크의 70% 정도 검출됨을 알 수 있다. 그러나 w_F^* 의 BER은 물결 세기가 5일 때부터 약 0.015-0.04정도 발생되며, 물결 세기가 30일 때 워터마크의 약 50%정도가 오류가 발생된다.

5) 메쉬 뭉뚱화 공격

메쉬 뭉뚱화 실험에서는 뭉뚱화 정도에 따라 변화노드 객체들을 모두 뭉뚱화하였다. 뭉뚱화 정도가 180인 Ninja 모델은 그림 7 (e)에서와 같다. 이에 대한 실험결과는 그림 8 (e)에서와 같으며, 이 그림을 살펴보면 w_R^* 의 BER이 뭉뚱화 정도가 180일 때도 0.1보다 작음을 볼 수 있다. 그러나 w_F^* 의 BER은 뭉뚱화

정도가 180일 때 약 0.245-0.333정도 발생된다.

6) 타임라인 공격

타임라인에 대한 공격에는 킷타임과 킷값을 랜덤하게 삭제 및 킷타임의 부표본화 등이 있다. 여기서 타임라인 공격에는 강한 워터마크 w_R 는 기하형상 노드에 삽입되므로, 이 공격에는 영향을 받지 않는다. 그러나 연약 워터마크 w_F 는 보간기 노드에 삽입되므로, 추출된 워터마크의 BER은 타임라인 공격의 세기에 영향을 받는다. 킷타임 부표본화 실험에서는 전체 킷타임 개수 N_{TR} 를 일정 비율 T_s 로 부표본화한 후, 워터마크를 추출하였다. 이에 대한 결과인 그림 8 (f)를 살펴보면, w_R 의 BER은 없으나 w_F 의 BER은 T_s 가 2일 때 0.025-0.050정도이나, T_s 가 4일 때 0.245-0.333정도로 비트 오류가 발생됨을 볼 수 있다.

이상의 실험 결과로부터 제안한 방법에 의하여 삽입된 워터마크 w_R 의 강인성과 w_F 의 연약성을 확인할 수 있었다.

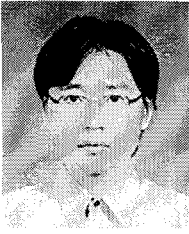
5. 결 론

3D 콘텐츠의 기본 모델에는 3D 정지 메쉬 모델, 3D 벡터 데이터 및 3D 애니메이션 모델이 있다. 3D 정지 메쉬 모델 및 3D 벡터 데이터에 대한 3D 워터마킹 기술이 많이 연구되어져 온 반면, 3D 애니메이션 모델에 대한 연구는 아직까지 미흡한 단계이다. 본 연구진에서는 3D 애니메이션 모델 상에서 보간기 노드 기반의 워터마킹 기법을 제안하였으나 기하학 공격에 매우 취약한 단점을 가짐을 확인하였다. 즉, 보간기 노드의 성분들은 다양한 공격에 대하여 연약한 속성을 가지나, 기하학 노드의 성분들은 강한 속성을 가질 수 있음을 확인하였다. 따라서 본 논문에서는 3D 애니메이션 모델 상에서 가능한 워터마킹 기법을 분석 및 제시하기 위하여, 강인성 및 연약성을 동시에 만족하는 워터마킹 기법을 제안한다. 제안한 방법에서는 위치 및 방향 보간기 노드의 변화율을 기반으로 연약한 워터마크를 삽입하며, 기하학 노드의 꼭지점 거리 분포를 기반으로 강한 워터마크를 삽입한다. 이들 두 기법들은 3D 애니메이션 모델에 각각 독립적이며 병렬적으로 수행된다. 실험 결과로부터 기하학 기반의 워터마크는 다양한 기하학 공격 및 타임라인 공격에 대하여 매우 강인하며, 이와 반

대로 보간기 기반의 워터마크는 동일한 공격에 대하여 매우 연약함을 확인하였다. 따라서 제한한 기법은 저작권 보호 및 인증이 필요한 3D 애니메이션 콘텐츠 분야에 많이 응용되어질 수 있다. 향후 본 연구진들은 3D 애니메이션 모델 워터마킹 기술을 확장하여 다양한 3D 콘텐츠 모델에 대한 복사 방지 기술 및 3D 워터마킹 프로토콜에 대하여 진행하고자 한다.

참고 문헌

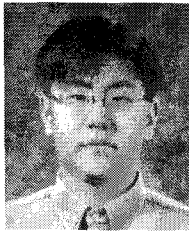
- [1] R. Ohbuchi, H. Masuda, and M. Aono, "Watermarking Three-Dimensional Polygonal Models Through Geometric and Topological Modification," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol.16, No.4, pp. 551-560, May 1998.
- [2] R. Ohbuchi, S. Takahashi, T. Miyazawa, and A. Mukaiyama, "Watermarking 3D polygonal meshes in the mesh spectral domain," *Proc. of Graphics Interface*, pp. 9-17, 2001.
- [3] O. Benedens, "Geometry-based watermarking of 3D models," *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol.19, issue 1, pp. 46-55, Jan./Feb. 1999.
- [4] S.-H. Lee and K.-R. Kwon, "A Watermarking for 3D-Mesh Using the Patch CEGIs," *Digital Signal Processing*, Vol.17, issue 2, pp. 396-413, Mar. 2007.
- [5] 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.
- [6] M.-S. Kim, Remy Prost, H.-Y. Chung, and H.-Y. Jung, "A Blind Watermarking for 3-D Dynamic Mesh Model Using Distribution of Temporal Wavelet Coefficients," *Lecture Notes in Computer Science*, Vol.4105, pp. 257-264, Sept. 2006.
- [7] S.-H. Lee and K.-R. Kwon, "3D Keyframe Animation Watermarking Based on Orientation Interpolator," *IEICE Transactions on Information and Systems*, Vol.E90-D, No.11, pp. 1751-1761, 2007.
- [8] S.-H. Lee, K.-R. Kwon, G.S. Jung and B.K. Cha, "3D Animation Watermarking Using Position Interpolator," *Lecture Notes in Computer Science*, Vol.4105, pp. 74-81, Sept. 2006.
- [9] S.-H. Lee, K.-R. Kwon, D.-K. Kim, "Watermarking for 3D Keyframe Animation Based on Geometry and Interpolator," *Lecture Notes in Computer Science*, Vol.4283, pp. 138-149, Sept. 2006.
- [10] 이석환, 권기룡, "기하학적 구조 및 위치 보간기를 이용한 3D 애니메이션 워터마킹," *전자공학회 논문지*, 제43권 CI편 11호, pp. 71-82, 2006년 11월.
- [11] 이석환, 도재수, 권기룡, "방향보간기 기반의 3D 애니메이션 워터마킹," *한국멀티미디어학회 논문지*, Vol.10, No.1, pp. 36-48, 2007년 1월.
- [12] ISO/IEC 14772-1, The virtual reality modeling language.
- [13] 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.
- [14] ISO/IEC 14496-1, Coding of Audio-Visual Objects-Part 1: Systems, 2001.



이 석 환

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

관심분야 : 워터마킹, DRM, 영상신호처리



권 성 근

- 1996년 경북대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
- 1998년 경북대학교 전자공학과 졸업 (공학석사)
- 2002년 경북대학교 전자공학과 졸업 (공학박사)
- 2002년~현재 삼성전자 무선통신사업부 연구원

관심분야 : 영상처리, 영상통신, 정보보호



권 기 룡

- 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 교수

2008년~현재 한국멀티미디어학회 국제담당부회장

관심분야 : 멀티미디어 정보보호, 영상처리, 웨이브릿 변환