

# 통합예측을 이용한 삼차원 메쉬의 기하정보 부호화 방법

안정환, 호요성  
광주과학기술원 정보통신공학과  
광주광역시 북구 오룡동 1번지

## Geometry Coding of 3-D Mesh Models Using a Joint Prediction

Jeong-Hwan Ahn and Yo-Sung Ho  
Kwangju Institute of Science and Technology (K-JIST)  
1 Oryong-dong, Puk-gu, Kwang-ju, Korea  
E-mail: {jhahn,hoyo}@kjist.ac.kr

### 요약

MPEG-4 SNHC 표준에서 사용되는 평행사변형 예측 방법은 예측하고자 하는 꼭지점이 인접한 꼭지점들과 같은 평면상에 있다고 가정하여 하나의 삼각형 내에 있는 인접한 세 개의 꼭지점 좌표 값을 이용하므로 예측 효율이 좋지 않다. 본 논문에서는 삼각형 주변의 꼭지점 좌표값과 인접하는 삼각형 사이의 사잇각을 고려한 통합예측을 이용하여 삼차원 메쉬 모델의 기하정보를 부호화하는 방법을 제안한다. 우선 꼭지점 계층탐색 방법으로 위상학적으로 거리가 가까운 점들을 탐색하여 정렬된 값들의 기하학적 상관도를 높이고, 정렬된 삼차원 메쉬의 꼭지점 순서에 따라 주변의 꼭지점 값들을 이용하여 현재 꼭지점 값을 예측한다. 본 논문에서 제안한 통합예측 방법은 다양한 VRML 포맷의 테스트 모델에 대해서 기존의 MPEG-4 SNHC의 평행사변형 예측 방법보다 우수한 성능을 보인다.

### 1. 서론

최근 Virtual Reality Modeling Language(VRML) 기반의 삼차원 모델은 인터넷, 컴퓨터 가상현실, 애니메이션, 그래픽 디자인 등 다양한 분야에서 사용되고 있다. 하지만 삼차원 모델은 저장과 전송에 있어 많은 용량을 차지하기 때문에 인터넷과 같은 제한된 대역에서의 다양한 조작용을 위해서는 효율적인 부호화 방식이 요구된다 [1].

일반적으로 삼차원 모델은 삼각형 메쉬(mesh) 구조로 표현되는데, 이것은 연결성(connectivity) 정보, 기하학(geometry) 정보, 색상(color)과 법선 벡터 그리고 텍스처(texture) 좌표축의 특성(attribute) 정보 등으로 이루어져 있다.

기하정보는 삼차원 공간상에서 메쉬 모델의 전체적인 외형을 정의하며, 32 비트의 유동 소숫점 (float-

ing point) 형태의 삼차원 벡터 (X,Y,Z)로 이루어져 있다. 연결성 정보는 이런 기하정보들의 연결 관계를 정수형(integer)으로 나타낸다. 특성 정보는 삼차원 메쉬 모델에 색을 칠하거나 렌더링(rendering)을 할 때 필요한 색상 정보와 법선 벡터를 가지고 있으며, 유동 숫자로 표현한다. 따라서, 연결성 정보를 압축하는 것보다 기하정보와 특성성분 정보를 압축하는 것이 상대적으로 유리하기 때문에, 최근엔 기하정보와 특성 정보 압축에 대한 연구가 많이 진행되고 있다.

일반적으로 삼각형 메쉬에서 기하정보는 일차원 디지털 음성의 표본값 혹은 이차원 영상의 화소값과 기능적으로 유사하다. 그러나 일반적으로 삼차원 모델은 불규칙적인 메쉬 구조를 가지므로 기존의 일차원 음성이나 이차원 영상에 적용했던 DCT와 같은 변환 부호화 방법 등을 적용하기 어렵다. 따라서 주변의 꼭지점이나 면이 가지는 기하정보와 특성정보 값을 이용하여 현재 메쉬에 있는 기하정보와 특성정보 값을 예측하여 부호화하는 방법을 많이 사용한다.

그림 1은 삼차원 모델 정보의 압축 시스템이다. 연결성 정보 압축기에서는 꼭지점들 사이의 관계를 탐색한 후 상호 연결정보를 무손실로 압축한다. 기하정보와 특성성분 정보 부호화기는 손실 혹은 무손실 부호화를 하며, 일반적으로 연결성 정보에서 정렬한 순서대로 값을 예측 부호화한다.

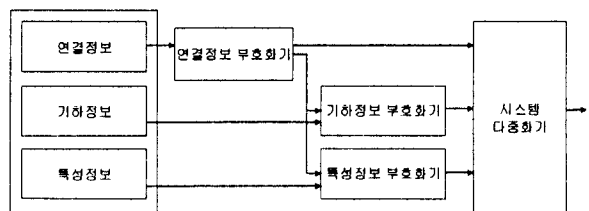


그림 1. 삼차원 모델 정보의 압축 시스템

Deering은 삼차원 메쉬 모델의 렌더링 속도를 향상하고 압축하는 방법을 처음으로 제안하였다 [2]. 이 방법에서는 주어진 삼각형 메쉬를 삼각형 스트립(strip) 구조로 표현하고, 스트립을 따라 꼭지점을 재정렬한다. 그리고 최 외곽 경계상자 (bounding box)를 정의한 후, 양자화를 통해 유동 소수점 값을 정수로 표현한다. 그리고 예측 과정을 거쳐 예측 오류는 Huffman 부호화 한다. 법선 벡터는 반지름이 1인 구 위의 한 점이므로 이것을 구 좌표계로 변환한다. 따라서  $(x,y,z)$ 가  $(\theta,\phi)$ 로 표현되므로 필요한 정보가 줄어들게 된다. 그리고 이 단위 구는 8-6 분할을 거쳐 법선 벡터 값을 양자화한다. 그러나 Deering이 제안한 방법은 효과적인 전송과 압축보다는 렌더링에 초점을 맞추어 압축 효율이 좋지않다.

Taubin과 Rossignac은 topological surgery방법을 제안하였다 [3]. 주어진 메쉬 구조에서 vertex spanning tree를 따라 꼭지점들을 정렬하고, Deering과 마찬가지로 최 외곽 경계 상자를 취해 양자화를 한 후 선형 예측 (linear prediction)을 거쳐 Huffman 부호화한다. 법선 벡터도 구 좌표계로 변환되고, 8-4 분할 양자화를 거쳐 부호화한다. 그러나 이 방법에서도 연결성 정보의 효과적인 압축방법에 중점을 두었고, 상대적으로 기하 정보와 특성정보의 부호화 효율은 높지 않다.

J.S. Choi는 꼭지점 좌표 부호화를 위해 multi-stage VQ(vector quantization)를 제안하였고, 이후엔 이 단계 SQ(scalar quantization)방법을 제안하여 좋은 성능을 보였다 [4].

J.H. Ahn은 꼭지점 좌표값을  $(r,\theta,\phi)$ 의 구 좌표계로 변환하고  $r$ 의 크기에 따라  $(\theta,\phi)$ 를 적응적으로 부호화하는 방법을 제안하였다 [5]. J. Li는 예측 오류를 비트 평면으로 표현하고 이것을 QM부호화기를 사용하여 점진적으로 부호화하는 방법을 제안하였다 [6].

Touma는 꼭지점의 차수에 기반을 두고 탐색하여 부호화하는 방법을 제안하였다 [7]. 이 순서에 따라 꼭지점과 특성 정보들은 평행사변형 예측 (parallelogram prediction)에 기반을 두고 부호화 하였다. 나중에 Bossen은 평행사변형 예측 방법과 QM방법을 topological surgery방법에 적용하였고, 이것이 MPEG-4 SNHC 표준으로 채택되었다 [8]. 그러나 MPEG-4 SNHC 표준에서 사용되는 평행사변형 예측 방법은 예측하고자 하는 꼭지점이 인접한 꼭지점들과 같은 평면상에 있다고 가정하여 하나의 삼각형 내에 있는 인접한 세 개의 꼭지점 좌표 값만을 이용하므로 예측 효율이 좋지 않다.

본 논문에서는 삼각형 주변의 꼭지점 좌표값과 인접하는 삼각형 사이의 사잇각을 고려한 통합예측을 이용하여 삼차원 메쉬 모델의 기하정보를 부호화하는 방법을 제안한다. 우선 꼭지점 계층탐색 방법으로 위상학적으로 거리가 가까운 점들을 탐색하여 정렬된 값들의 기하학적 상관도를 높이고, 정렬된 삼차원 메쉬의 꼭지점 순서에 따라 주변의 꼭지점 값들을 이용하여 현재 꼭지점 값을 예측한다. 본 논문에서 제안한 통합예측 방법은 다양한 VRML 포맷의 테스트 모델에 대해서 기존의 MPEG-4 SNHC의 평행사변형 예측 방법보다 우수한 성능을 보인다.

## 2. 삼차원 메쉬 모델 부호화 구조

본 절에서는 삼차원 메쉬 모델을 부호화하는데 사용되는 선형 양자화 예측 부호화 방법과 DPCM부호화 방법을 비교 설명하고, 불규칙적인 메쉬 구조에서 꼭지점들을 정렬하는 방법을 살펴본다.

### 2.1 부호화기 구조

삼차원 메쉬 부호화기는 크게 선형 양자화 예측 부호화 방법(prequantized predictive coding, PPC)과 DPCM의 두 가지로 나눌 수 있다 [10]. Deering은 처음 PPC방법을 제안하였으며, MPEG-4 표준을 포함하여 대부분의 방법들이 PPC방법을 사용하고 있다.



그림 2. 선형 양자화 예측 부호화

그림 2에서 보듯이 PPC에서는 입력 데이터가 먼저 양자화 되고, 양자화 인덱스는 예측 부호화된다. 그러나 양자화 과정이 다른 과정보다 선행하므로 실시간으로 비트율 제어가 어렵다는 단점이 있다. 또한, 부호화 전에 입력 값의 통계학적인 특성을 알 수 없으므로 균등 양자화 외에 다른 다양한 적응 양자화를 적용하기 어렵다.

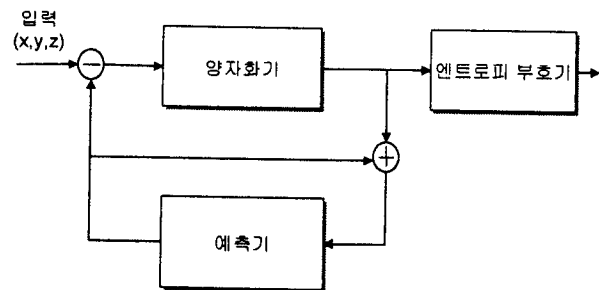


그림 3. DPCM 부호화

그림 3은 DPCM 구조로, 이전에 복원된 값을 가지고 현재 값을 예측한다. 그리고 예측 오류를 양자화하고 양자화 인덱스는 엔트로피 부호화된다. 현재 값은 양자화 오류와 이전 값이 더해져 복원하고, 이 값이 다음 입력 값의 예측 값으로 사용된다. DPCM에서는 예측 오류에 대한 분포를 알고 있으므로, 적응적인 양자화 방법이 적용될 수 있어 비트율 제어가 용이하고 입력 모델의 통계학적인 특성에 맞게 양자화기를 설계할 수 있다. 따라서, DPCM에서는 예측기가 데이터의 잉여정보를 없애고 부호화 효율을 높이는 역할을 하므로 아주 중요하다 [4,5,10].

따라서 제안한 논문에서는 DPCM을 삼차원 메쉬 압축으로 채택하였으며 효과적인 예측기를 제안하여 부호화 효율을 높였다.

## 2.2 꼭지점 계층탐색

메쉬의 꼭지점을 정렬하는 이유는 예측 부호화 효율을 높이기 위해서이다. 제한한 방법에서는, 우선 삼차원 모델의 무게 중심에서 가장 먼 꼭지점을 찾고 이것을 기준 꼭지점으로 설정한다. 기준 꼭지점을 기준으로 그림 4에서와 같이 위상학적으로 거리가 1인 꼭지점을 반 시계 방향으로 탐색한다. 그리고 이것을 계층 1로 정한다. 그 다음 위상학적인 거리가 2인 꼭지점을 탐색하고, 계층 2로 정한다. 탐색된 꼭지점들은 큐(queue)에 저장되어 되고, 모든 꼭지점을 탐색할 때까지 이러한 방법을 계속한다. 만일 주어진 메쉬가 하나의 구성성분으로 이루어져 있다면 탐색과정은 한번에 끝나며, 여러 개의 구성성분으로 구성되어 있다면, 그 수에 맞춰 반복한다. 그림 4에서 꼭지점에 있는 숫자는 꼭지점들이 탐색된 순서를 의미하며, 이 순서대로 꼭지점들을 정렬한다.

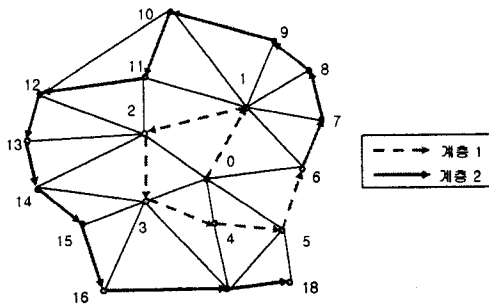


그림 4. 꼭지점 계층탐색

기존의 탐색 방법들은 연결성 정보에 맞춰 탐색을 하지만, 제한한 방법은 꼭지점에 기반을 두고 탐색하는 점이 다르다. 여기서 정의된 순서대로 꼭지점이 정렬되고 이미 부호화된 주위에 있는 값 들을 가지고 예측 부호화 한다. 주위에 이미 탐색된 꼭지점들을 현재 꼭지점의 선행 꼭지점이라고 정의한다.

## 3. 기하정보 압축

본 절에서는 기하정보를 압축하기 위해 주어진 꼭지점 주위의 꼭지점 값들과 사잇각을 가지고 예측하는 방법을 제안한다. 그림 5는 제안한 부호화기로 크게 전처리 과정, 예측 과정, 양자화, 엔트로피 부호화기로 구성되어 있다.

### 3.1 전처리 과정

전처리 과정에서는 크게 다 구성 성분(multiple component) 부호화와 정규화(normalization)과정이 있다. 때로는 삼차원 메쉬 모델은 여러 개의 독립적인 구조가 붙어서 구성되며, 각 부분의 첫 번째 꼭지점을 루트 꼭지점이라 한다. 이런 경우 각 독립 부분의 첫 번째 꼭지점은 이전 부분의 마지막 꼭지점의 값으로 예측한다.

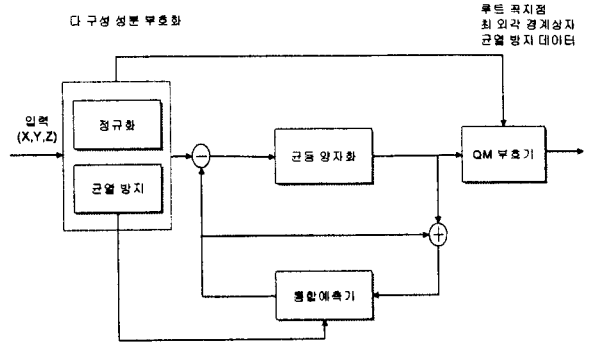


그림 5. 기하정보 부호화기

외형적으로 봐서 하나의 메쉬 모델이라도 독립적인 각 부분이 붙어서 하나의 메쉬 모델을 이루는 경우, 다른 부분이 붙는 부분에 위치한 꼭지점은 서로 각 부분에 공유된다. 예를 들어 삼차원 저작도구로 모델을 만드는 경우, 다른 곳에서 만든 부분을 가져다 붙이는 경우가 있다. 이런 경우 서로 다른 부분이 붙는 부분의 꼭지점은 서로 다른 선행 꼭지점으로부터 예측 하기 때문에, 이 값이 양자화 되는 경우 복원한 모델엔 균열(crack)이 발생한다. 이런 문제를 해결하기 위해, 다음과 같은 방법을 사용한다. 먼저 하나의 꼭지점이 서로 다른 선행 꼭지점을 갖는 경우, 이것을 전처리 과정에서는 공유(shared) 꼭지점이라 정의하고, 이 꼭지점은 부호화 과정에서 한번만 부호화한다. 즉, 다시 이 공유 꼭지점을 부호화 해야 하는 경우 그냥 넘어간다. 그리고 이러한 정보는 헤더 정보로 복원단에 전송된다. 따라서, 공유 꼭지점이 많은 경우엔 전체적인 비트율에서 많은 이득이 생길 수 있다.

### 3.2 통합예측

기존의 평행사변형 예측 방법은 삼각형 스트립을 따라 예측 하도록 정의된 방법이다. 그림 6에서 화살표 방향으로 탐색하고 꼭지점  $v_i, v_r, v_m$ 은 이미 부호화된 꼭지점일 때, 공통 에지( $v_i, v_r$ )의 반대편 꼭지점  $v$ 는 식 (1)과 같이 예측한다.

$$\hat{v} = v_i + v_r - v_m \quad (1)$$

따라서, 예측된 값  $\hat{v}$ 는 선행 꼭지점  $v_i, v_r, v_m$ 과 평행사변형을 이루고 같은 평면상에 위치하는 점이 된다.

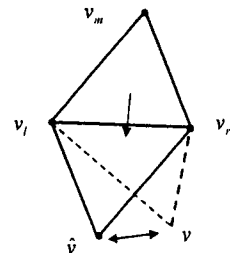


그림 6. 평행사변형 예측

그러나 평행사변형 예측방법은 하나의 인접 삼각형에 있는 이미 복호된 세 점만을 이용하므로 예측된 점이 복호된 점들 쪽으로 치우쳐질 수 있다. 또한, 모든 꼭지점들이 같은 평면상에 위치한다고 가정하므로 곡률이 있는 면에 위치한 점들에 대해서는 정확한 예측이 어렵다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해 꼭지점 계층탐색을 따라 기하학적으로 가까운 점들을 모두 이용하고 공통 에지 사이의 각도를 예측하는 방법을 제안한다.

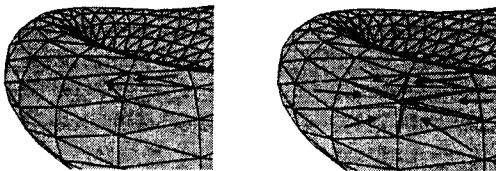
일반적으로 하나의 꼭지점에 대해 인접하는 꼭지점의 수에 따라 식 (2)와 같이 예측한다.

$$\hat{v} = \begin{cases} v_l & \text{if } v_l \text{ is available} \\ v_r & \text{if } v_r \text{ is available} \\ 0.5v_l + 0.5v_r & \text{if } v_r \text{ and } v_l \text{ are available} \\ v_l + v_r - v_m & \text{if } v_r, v_l \text{ and } v_m \text{ are available} \end{cases} \quad (2)$$

기존의 평행사변형 예측방법은 하나의 삼각형 내에 있는 꼭지점만을 이용하여 예측한다. 그러나 일반적으로 꼭지점 계층탐색을 이용하여 탐색하면 하나의 꼭지점에 대해 여러 개의 선행된 삼각형들을 얻을 수 있다. 이런 경우 식 (2)에서 얻어진 값들을 식 (3)처럼 평균하여 예측값으로 사용한다.

$$\hat{v} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \tilde{v}_k \quad (3)$$

그림 7은 EIGHT 모델에서 예측의 예를 보여준다. 그림 7(a)는 기존의 한 방향 예측 방법이고, 그림 7(b)는 제안한 다 방향 예측 방법이다. 그림에서 보듯이 다 방향 예측이 곡률이 있는 곳에서 기존의 한 방향 예측 보다 우수함을 알 수 있다.



(a) 한 방향 예측 (b) 다 방향 예측

그림 7. 평균 평행사변형 예측

평행사변형 예측은 모든 꼭지점들이 같은 평면상에 존재한다고 가정한다. 하지만 그림 8에서 보는 것처럼, 실제 메쉬에서 대부분의 삼각형들은 공통 에지를 따라 접혀 있으므로, 이 각도를 그림 8과 같이 주위 삼각형들의 사잇각을 이용하여 예측 하면 좀더 정확한 값을 얻을 수 있다.

그림 9에서 평행사변형 예측을 통해 얻은 값이  $\hat{v}$  라면, 이 값은 주위의 인접  $\theta_1$  과  $\theta_2$  를 가지고 예측한  $\theta$  만큼 공통 에지( $v_l, v_r$ )에 대해서 회전한  $\tilde{v}$  를 얻는다. 그림 9에서 보듯이 이렇게 예측한  $\tilde{v}$  이 평행사변형 예측으로 얻은  $\hat{v}$  보다 더 정확함을 알 수 있다.

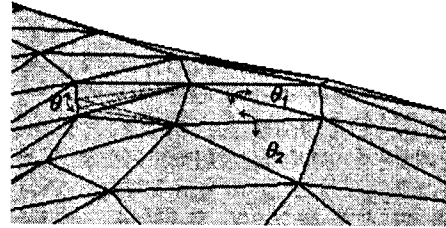


그림 8. 곡률이 있는 메쉬

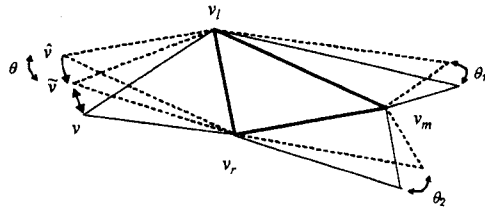


그림 9. 사잇각예측

여기서  $\theta$ 는 식 (4)와 같이 구한다.

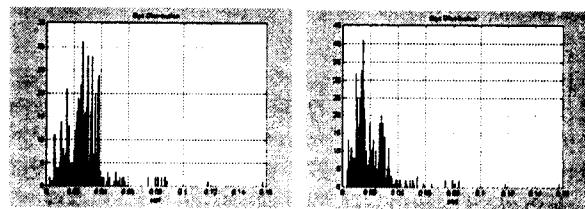
$$\theta = \begin{cases} \theta_1 & \text{if } \theta_1 \text{ is available} \\ \theta_2 & \text{if } \theta_2 \text{ is available} \\ (\theta_1 + \theta_2) / 2 & \text{if } \theta_1 \text{ and } \theta_2 \text{ are available} \end{cases} \quad (4)$$

만일 하나 이상의 선행하는 삼각형들이 존재한다면 식 (5)와 같이 회전 변환된  $\tilde{v}$  들을 평균하여  $v'$  를 구한다. 원래 이 방법은 Touma 논문[7]에 제시되어 있으나, 본 논문에서 제안한 방법에서는 하나 이상의 삼각형을 이용하므로 좀더 정확한 값을 예측 할 수 있다.

$$v' = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \tilde{v}_k \quad (5)$$

여기서  $N$ 은 주어진 꼭지점  $v$ 에 대해 선행하는 인접 삼각형들의 수이다.

그림 10은 기존의 평행사변형 예측방법과 제안한 통합예측과의 성능을 비교한 것이다. 실험에서는 EIGHT 모델을 사용하였고, 예측 오류  $\Delta v = v - v'$  는  $\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}$  로 정의한다. 그림 10에서 알 수 있듯이 제안한 방법이 좀더 많은 주변 삼각형과의 상관관계를 이용하였기 때문에 예측 오류를 "0" 근처로 집중시켜 성능이 우수함을 알 수 있다.



(a) 평행사변형 예측 (b) 제안한 방법

그림 10. EIGHT 모델에 대한 실험 결과

### 3.3 양자화 및 엔트로피 부호화기

통합예측 방법을 거쳐 나온 예측 오류는 M레벨 Midthread 균등 양자화기로 양자화한다. 이미 전처리 과정에서 입력된 기하 정보를 정규화시켰기 때문에 예측 오류는  $[-1,1] \times [-1,1] \times [-1,1]$ 의 값의 범위를 갖는다. 여기서 양자화 스텝 크기  $\Delta$ 는  $2/(M-1)$ 로 계산된다. 양자화 인덱스는 QM부호화기를 통해 엔트로피 부호화한다.

## 4. 실험 결과

본 논문에서는 MPEG-4 SNHC에서 사용하고 있는 다양한 형태의 VRML모델에 대해서 제안한 방법과 MPEG-4 SNHC 방법을 비교하였다.

그림 11은 실험에 사용한 HORSE, SKULL, BEETHOVEN, CROCODILE, 57CHEVY, CAM-SHAFT를 보여주며, 각 모델의 특징을 표 1에 정리하였다.

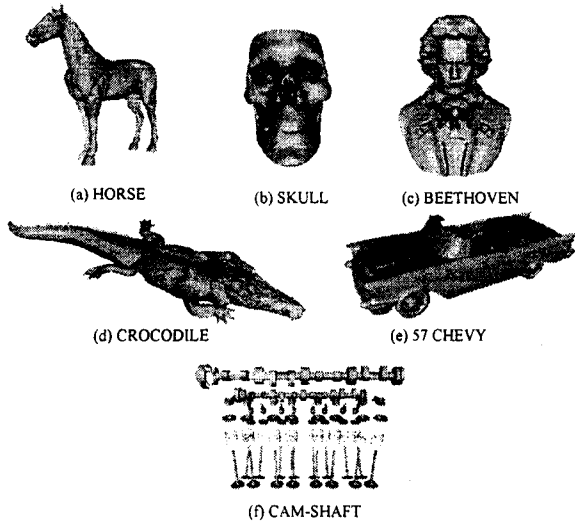


그림 11. 실험 모델

표 1에서  $nV$ 는 꼭지점의 수,  $nF$ 는 삼각형의 수,  $nM$ 은 구성 성분의 수,  $nS$ 는 공유 꼭지점의 수이다.

표 1. 실험 모델의 특징

	$nV$	$nF$	$nM$	$nS$
HORSE	11,135	22,258	3	30
SKULL	10,952	2,210	1	0
BEETHOVEN	2,845	2,812	20	324
CROCODILE	17,332	21,590	65	0
57CHEVY	18,472	15,369	585	3,309
CAM-SHAFT	54,898	52,500	209	3,660

### 4.1 왜곡 오류 측정방법

영상 부호화 방법에서는 Root Mean Squared Error (RMSE)나 Peak-Signal-to-Noise Ratio (PSNR)가 객관적인

오류 측정방법으로 사용된다. 그러나, 삼차원 모델 부호화의 경우 몇 개 꼭지점에서의 큰 오류는 삼차원 모델의 전체적인 형태를 변형시키기 때문에 RMSE나 PSNR과 같은 측정방법은 적당하지 않다. 대신 Hausdorff 측정 방법과 같이 주어진 두 점들 사이에 max-min오류를 구하는 것이 타당하다. 제안한 삼차원 부호화 방법의 성능을 평가하기 위해 다음과 같이 Hausdorff 측정 방법을 사용하였다.

원래의 삼차원 모델을  $A$ 라고 정의하고  $A$ 에 있는 꼭지점을  $\{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ , 복원된 모델을  $B$ 라고 정의하고  $B$ 에 있는 꼭지점을  $\{b_1, b_2, \dots, b_n\}$ 라고 하면, Hausdorff 거리는 식 (6)과 같이 정의된다.

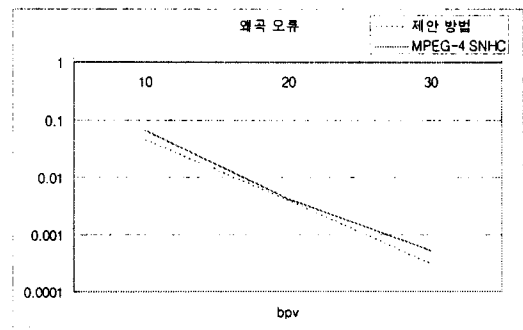
$$H(A, B) = \max(h(A, B), h(B, A)) \quad (6)$$

여기서  $h(A, B) = \max_{a \in A} (\min_{b \in B} \|a - b\|)$ 이다.

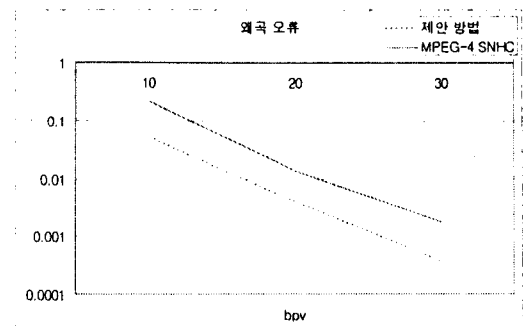
$h(A, B)$ 는 대칭(symmetric)이 아니므로,  $A$ 로부터  $B$ 로의 Hausdorff 거리라고 한다.  $H(A, B)$ 는 두 점들의 집합 사이의 불일치를 측정하여야 하기 때문에  $h(A, B)$ 와  $h(B, A)$  중 더 큰 값을 찾는다. 만일 Hausdorff 거리가  $d$ 라면,  $A$ 에 있는 모든 꼭지점들은  $B$ 로부터의  $d$ 만큼의 거리 안에 존재하며 역으로도 성립한다.

### 4.2 실험 결과

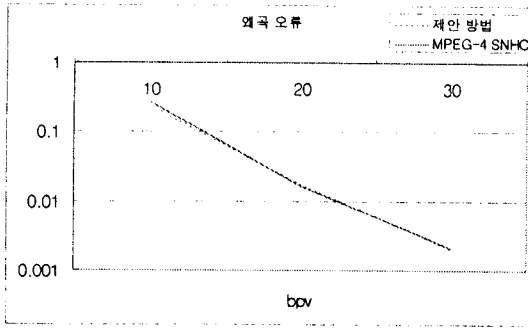
그림 12는 제안한 방법과 MPEG-4 SNHC방법과의 결과를 비교한 것이다. MPEG-4 SNHC는 기본적으로 topological surgery방법에 기반을 두고 있다. x-축은 bits per vertex (bpv)이고 y-축은 왜곡 오류로 로그 스케일이다. 그림 12의 결과에서 보듯이 제안한 방법이 MPEG-4 SNHC보다 우수함을 알 수 있다.



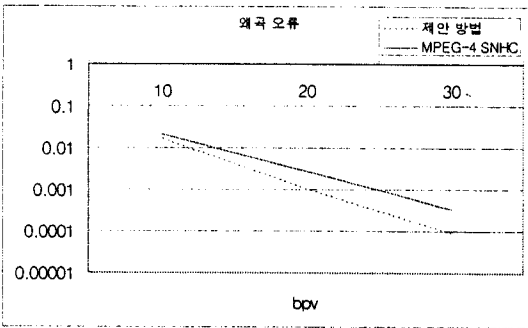
(a) HORSE



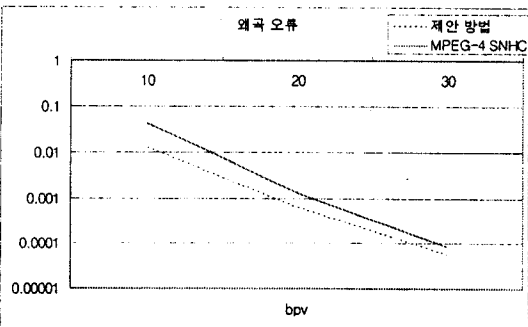
(b) SKULL



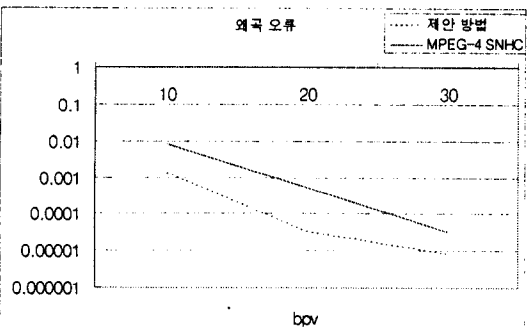
(c) BEETHOVEN



(d) CROCODILE



(e) 57 CHEVY



(f) CAM-SHAFT

그림 12. 실험 결과

제안한 삼차원 메쉬의 기하 정보 부호화는 주변 꼭지점들과의 좌표값과 사잇각을 이용하는 통합예측 방법을 사용한다. 따라서 평행사변형 방법을 사용하는 MPEG-4 SNHC 방법보다 좋은 결과를 보인다.

## 5. 결론

본 논문에서는 DPCM 구조에 기반하고 통합예측 방법을 적용한 삼차원 기하정보 부호화기를 제안하였다. 통합예측 방법은 꼭지점 계층탐색 순서를 따라 현재 위치의 꼭지점을 예측 하는데 주변 꼭지점의 기하학적인 상관관계와 곡률(curvature)을 고려하여 예측화한다. 따라서, 기존의 MPEG-4 SNHC의 평행사변형 예측보다 좋은 결과를 얻을 수 있었고, 실제 VRML 모델에 대해서 실험한 결과에서도 제안한 방법이 MPEG-4 SNHC 방법보다 우수함을 알 수 있었다. 그러나 제안한 방법은 하나의 주어진 꼭지점에 대해 주변의 관계되는 모든 꼭지점에 대한 기하학 정보와 곡률을 계산하기 때문에 계산량이 요구된다.

## 감사의 글

본 연구는 광주과학기술원 초고속광네트워크 연구 센터(UFON)를 통한 한국과학재단우수연구센터(ERC)와 교육부 두뇌 한국21(BK21) 정보기술사업단의 지원에 의한 것입니다.

## 참고 문헌

- [1] J. Hartman and J. Wernecke, *The VRML 2.0 handbook*, Addison-Wesley, 1996.
- [2] M. Deering, "Geometry compression," *Computer Graphics Proceedings SIGGRAPH*, pp. 13-20, Aug. 1995.
- [3] G. Taubin and J. Rossignac, "Geometry compression through topological surgery," *ACM Transactions on Graphics*, pp. 84-115, April 1998.
- [4] J.S. Choi, Y.H. Kim, H.J. Lee, I.S. Park, M.H. Lee and C.T. Ahn, "Geometry compression of 3-D mesh models using predictive two-stage quantization," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Tech.*, vol. 10, no. 2, pp. 312-322, Dec. 2000.
- [5] J.H. Ahn and Y.S. Ho, "An efficient geometry compression method for 3D objects in the spherical coordinate system," *Int'l Conference on Image Processing (ICIP)*, vol. 2, pp. 482-486, Oct. 1999.
- [6] J. Li and C.-C. Kuo, "Progressive coding of 3D graphics models," *Proceeding of IEEE*, vol. 86, pp. 1228-1243, June 1998.
- [7] C. Touma and C. Gotsman, "Triangle mesh compression," *Proc. Graphics Interfac '98*, pp. 26-34, 1998.
- [8] "Description of core experiments on 3-D model coding," ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG/N244rev1, Atlantic City, Oct. 1998.
- [9] W. Pennebaker and J. Mitchell, *JPEG still image compression standard*, Van Nostrand Reinhold, 1993.
- [10] A. Gersho and R. M. Gray, *Vector quantization and signal compression*, Kluwer Academic Publishers, 1992.
- [11] F. Ng, B.-L. Yeo and M. Yeung, "Improving 3D model geometry coding using DPCM techniques," ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG/M4719, 1999.