

# 예측 오류의 최적 양자화를 사용한 삼차원 모델의 부호화 방법

안정환, 호요성

광주과학기술원 정보통신공학과  
광주광역시 광산구 쌍암동 572 번지

Tel: 062-970-2263, Fax: 062-970-2204, E-mail: jhahn@gogh.kjist.ac.kr

## Abstract

In recent days, applications using 3D models are increasing. Since the 3D model contains a huge amount of information, compression of the 3D model data is necessary for efficient storage or transmission. In this paper, we propose an encoding scheme to compress the geometry information of the 3D model. Using the Levinson-Durbin algorithm, the encoder first predicts vertex positions along a vertex spanning tree. The prediction residual errors are then quantized optimally with the Lloyd-Max algorithm, and the quantized values are further coded using Huffman coding before transmission.

## 1. 서론

최근 실제 사물을 가상 공간상에서 표현하기 위해 복잡한 삼차원 물체를 이용한 응용이 늘어나고 있다. 기존의 MPEG-1 과 MPEG-2 표준은 자연적인 오디오와 비디오 데이터를 저장하거나 전송하는데 역점을 두었지만, MPEG-4 SNHC (Synthetic and Natural Hybrid Coding)[1,2]에서는 컴퓨터 그래픽으로 만든 삼차원 물체를 이용하여 좀더 효과적이고 실감나는 영상을 표현하는데 중점을 두고 있다.

일반적으로 삼차원 물체는 삼각형 메쉬 구조(Mesh)로 나타내는데, 이것은 연결성(Connectivity) 정보, 기하학(Geometry) 정보, 색(Color)과 법선(Normal) 벡터, 그리고 텍스처(Texture) 정보 등으로 이루어져 있다. 연결성 정보는 삼각형 메쉬들이 어떻게 연결되었는지에 대한 정보를 가지고 있고, 기하학(Geometry) 정보는 삼각형 메쉬의 꼭지점 좌표값을 가지고 있다. 그리고 색, 법선 벡터, 텍스처 정보는 삼차원 물체를 렌더링하는데 필요한 정보를 가지고 있다.

보통 꼭지점들은 유동 소숫점 형태의 삼차원 벡터(X,Y,Z)로 이루어져 있으며, 각 좌표값은 32 비트로 표시된다. 연결성 정보는 이런 꼭지점들의 연결 관계를 정수 형태로 나타낸다. 그러나 삼각형 메쉬의 수는 보통  $10^5 \sim 10^7$  정도로 그 데이터의 양이 엄청나게 많으며, 대부분이 기하학 정보가 큰 비중을 차지하고 있다. 따

라서 이러한 3차원 데이터를 그대로 전송, 저장, 또는 렌더링하는데 많은 문제점이 있으므로, 이런 문제점을 해결하기 위해 3차원 물체를 이루는 꼭지점 값들에 대한 데이터 압축 방법이 필요하다.

미국의 IBM[3,4]에서는 우선 각 꼭지점의 좌표값에 좌표축 별로 균등 양자화(Uniform Quantization)를 적용하고, 양자화된 값들을 이용하여 선형 예측을 수행한다. 그리고 실제값과 예측한 값의 차이를 엔트로피 부호화한다. 그러나 이때 균등 양자화의 최대값과 최소값의 차이가 크므로, 전체적으로 큰 양자화 오류를 가진다.

본 논문에서는 (X,Y,Z)의 꼭지점 좌표값들을 Vertex Spanning Tree[3,4]를 따라 DPCM을 수행하여 예측 오류를 구하고, 이 예측 오류의 특성에 맞는 최적의 양자화기를 적용하여 삼차원 모델을 부호화한다. 또한 VRML 데이터에 대한 실험을 통해 기존의 방법과 제안된 방법의 성능을 비교하였다.

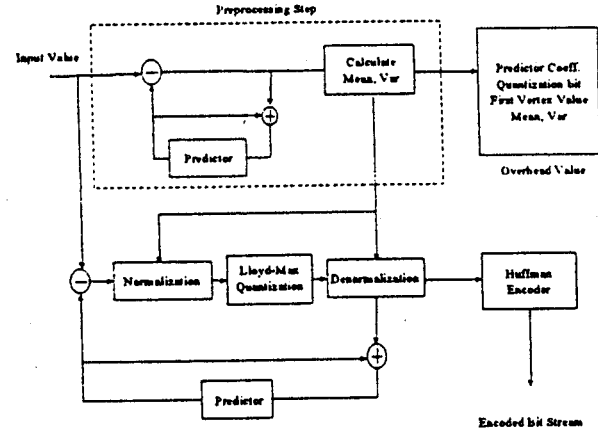
## 2. 삼차원 모델의 부호화 방법

그림 1은 본 논문에서 제안한 삼차원 모델 부호화기와 복호기의 전체 블록도이다. 부호화기는 크게 전처리 과정, 부호화 과정, 엔트로피 부호화 과정의 3단계로 이루어져 있다. 전처리 과정은 예측기, 평균(Mean)과 분산(Variance) 계산기, 오버헤드 정보 저장기 등으로 구성되어 있다.

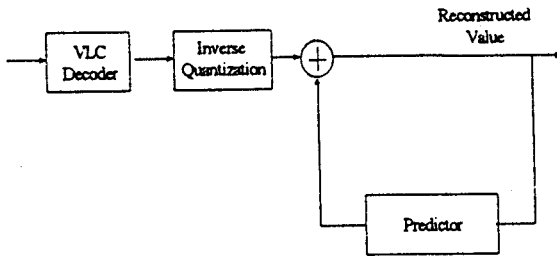
일반적으로 삼차원 모델은 삼각형 메쉬 구조로 표현되며, 메쉬 구조는 메쉬들 사이의 연결성 정보와 메쉬를 이루는 꼭지점으로 이루어진 기하학 정보로 구성된다. 그러나 하나의 삼차원 모델이라도 기하학적인 특성상 여러 개의 구성 성분(Component)으로 이루어져 있으며, 구성 성분은 서로 독립적인 특성을 가지고 있어, 각각의 구성 성분은 따로따로 처리가 되어야 한다. 이때 각 구성 성분의 첫번째 꼭지점을 루트 꼭지점이라 정의한다.

전처리 단계에서는 먼저 입력되는 삼차원 모델을 분석하여 각각의 구성 성분의 루트 꼭지점을 찾는다. 그리고 구성 성분별로 Levinson-Durbin에 기반을 둔 예

측 동작을 거쳐 전체적인 예측 오류에 대한 평균과 분산을 계산한다.



(a) 부호화기



(b) 복호화기

그림 1. 삼차원 모델 부호화기의 전체 블록도

부호화 단계에서는 전처리 단계에서 구한 평균과 분산값을 이용하여 좌표축 별로 예측 오류를 평균 0 이고 분산 1로 정규화한 후, Lloyd-Max 양자화를 사용하여 부호화한다. Lloyd-Max 양자화를 위한 양자화 테이블은 정규 분포를 가지는 라플라시안 분포에 대해서 설계하였다. 따라서 부호화단에서는 각각의 예측 오류를 평균은 0, 분산은 1로 정규화하여 여기서 만든 일반적인(General) 양자화 테이블을 사용한다. 양자화된 값들의 인덱스는 허프만 부호화기를 이용하여 엔트로피 부호화한다.

### 2.1 선형 예측 방법

삼차원 모델의 각 꼭지점  $v_n = (x_n, y_n, z_n)$  의 예측값  $\overline{x}_n, \overline{y}_n, \overline{z}_n$  은 IBM에서 제안한 Vertex Spanning Tree 나 Triangle Spanning Tree[3,4], 또는 USC에서 제안한 Dual Graph[5]에서 정의된 꼭지점들에 대한 Farther-Son 관계에 따라 식(1), 식(2), 식(3)을 이용하여 선형 예측할 수 있다.

$$\overline{x}_n = \sum_{i=1}^p \lambda_{xi} x_{n-i} \quad (1)$$

$$\overline{y}_n = \sum_{i=1}^p \lambda_{yi} y_{n-i} \quad (2)$$

$$\overline{z}_n = \sum_{i=1}^p \lambda_{zi} z_{n-i} \quad (3)$$

여기서  $p$ 는 예측 차수이며,  $\lambda_{xi}, \lambda_{yi}, \lambda_{zi}$ 는 예측 계수이다. 예측 계수의 값은 Levinson-Durbin 알고리즘[6]을 이용하여 각 좌표별로 따로 구한다. 그리고 예측 오류  $\Delta x_n, \Delta y_n, \Delta z_n$ 은 식(4), 식(5), 식(6)으로 구한다.

$$\Delta x_n = x_n - \overline{x}_n \quad (4)$$

$$\Delta y_n = y_n - \overline{y}_n \quad (5)$$

$$\Delta z_n = z_n - \overline{z}_n \quad (6)$$

앞에서 언급하였듯이, 대부분의 삼차원 모델은 여러 개의 구성 성분으로 이루어져 있으므로, 여러 개의 루트 꼭지점을 가진다. 이때 각 루트 꼭지점에 대해서는 Father 꼭지점이 존재하지 않기 때문에, 위의 방법처럼 선형예측 방법을 사용하지 않는다.

### 2.2 예측 오류에 대한 정규화 및 양자화

좌표값들에 대한 예측 오류  $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ 가 계산되면 전처리 과정에서 구해진 평균과 분산을 이용하여 예측 오류를 평균 0이고 분산 1로 정규화한다. 일반적으로 정규화 후의 예측 오류  $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ 는 그림 2와 같은 정규화된 라플라시안(Laplacian) 분포를 가진다.

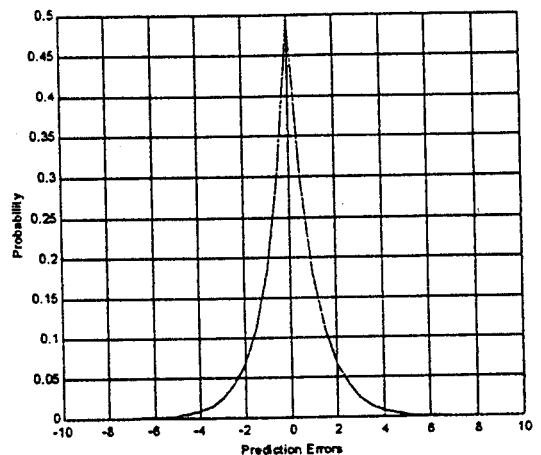


그림 2. 라플라시안 분포

따라서 이러한 정규화된 라플라시안 분포의 데이터

를 최적 부호화하기 위해 Lloyd-Max 알고리즘[7]으로 양자화기를 설계하면, 주어진 양자화 레벨에 대해서 최소의 MSE(Mean Squared Error)를 얻을 수 있다. 이때의 MSE는 IBM에서 제안한 양자화 오류  $\Delta^2/12$  보다 훨씬 작아진다. 또한 부호화기와 복호기에서 똑같은 최적 양자화기를 사용하므로, 양자화 표를 복호화기에 따로 전송할 필요가 없다.

### 2.3 엔트로피 부호화

양자화 값에 대한 인덱스는 허프만 부호화기를 이용하여 엔트로피 부호화한다. 여기서 예측 오류의 분포는 정규화된 라플라시안 분포를 가지므로, 이러한 분포에 맞는 허프만 테이블을 따로 전송하지 않는다.

### 2.4 루트 부호화

하나의 삼차원 모델은 여러 개의 구성 성분으로 이루어져 있다. 만일 구성 성분의 첫 번째 꼭지점의 좌표가 원래 값대로 복원되지 않는다면, 각각의 구성 성분이 서로 떨어져 하나의 모델이 분리가 되는 심각한 문제가 발생하며, 다음 꼭지점에 오류가 계속 누적된다. 따라서 이러한 루트 꼭지점을 예측을 사용하지 않고 16 비트로 균등하게 부호화하여 전송한다.

### 2.5 부호화 정보

복호기에 전송해야 할 부호화 정보로는 엔트로피 부호화된 양자화 레벨의 인덱스와 양자화 레벨의 수, 루트 꼭지점, 예측기의 예측 계수, 평균, 분산 등이다.

## 3. 실험 결과

본 논문에서는 현재 3 차원 데이터의 처리를 위해 널리 사용되고 있는 VRML 모델을 이용하여 실험하였으며, 표본 데이터의 특성을 표 1에 정리하였다.

표 1. 실험에 사용한 데이터

모델 이름	꼭지점 수	다각형의 수
Eight	766	1535
Femur	3897	7798
Horse	11135	22258
Pieta	3476	6976
Shape	2562	5120
Skull	10952	22104
Triceratops	3100	2834

우선 IBM에서 제안한 Vertex Spanning Tree를 이용

하여 꼭지점들의 Father-Son 관계를 정하고, 이에 따라 선형 예측을 수행하였다.

복원한 모델과 원래 모델 사이의 오류는 다음과 같이 계산하였다. 복원한 모델의 각 꼭지점에서 원래 모델의 가장 가까운 꼭지점까지의 거리를  $d_1$ 으로 정의한다. 반대로 원래 모델의 각 꼭지점에서 복원한 모델의 가장 가까운 꼭지점까지의 거리를  $d_2$ 로 정의한다. 이렇게 구한 두 거리의 평균값을 식 (7)처럼 오류로 정의하였다.

$$Error = \frac{1}{2}(d_1 + d_2) \quad (7)$$

표 2는 표 1의 모델들에 대해 기존의 IBM 방법과 제안한 방법에 대한 실험 결과를 보여준다. 일반적으로 삼차원 모델의 X,Y,Z 좌표값은 32 비트의 유동 소수점으로 표현되므로 꼭지점당 96 비트가 필요하다. 실험에서는 꼭지점당 10 비트와 23 비트를 할당하여, (a)에 BPV(Bits Per Vertex)가 10 일 때의 결과를 (b)에는 BPV가 23 일 때의 결과를 정리하였다. BPV가 8 일 때는 IBM 방법이 제안한 방법보다 약 2 배정도 오류가 많음을 알 수 있다. 그리고 BPV가 23 인 높은 비트율에 대해서는 약 3-4 배 정도 오류가 많음을 알 수 있다.

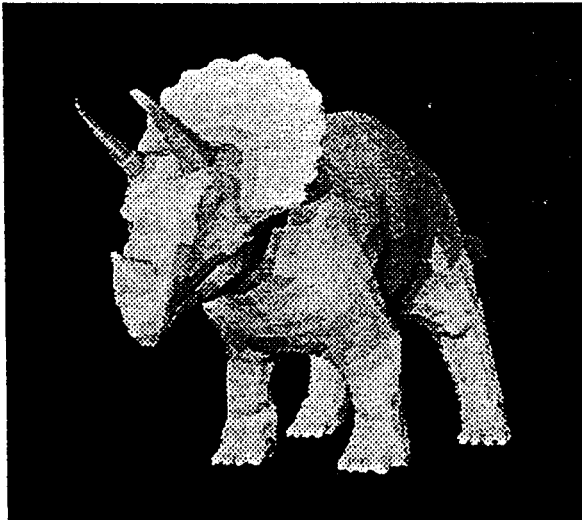
표 2. 제안된 방법과 IBM 방법과의 결과 비교

(a)BPV= 10

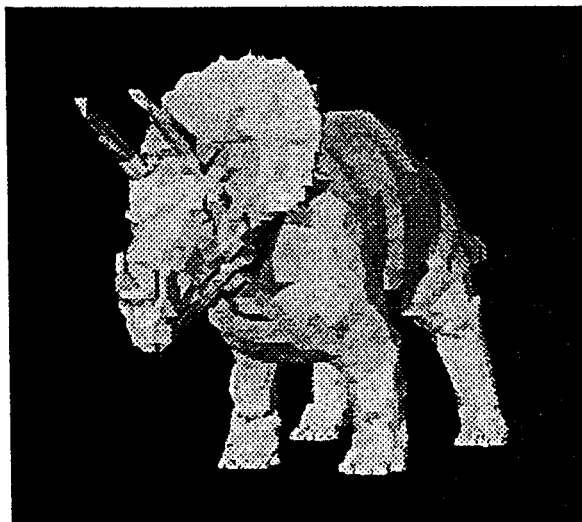
모델 이름	IBM	제안한 방법
Eight	1.0536	0.3037
Femur	0.3024	0.1243
Horse	0.1310	0.0684
Pieta	0.3001	0.2187
Shape	0.4210	0.2272
Skull	0.2276	0.2537
Triceratops	0.3075	0.1220

(b)BPV = 23

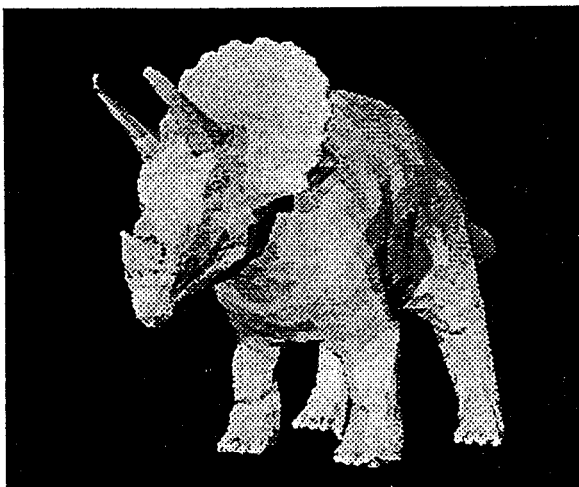
모델 이름	IBM	제안한 방법
Eight	0.1624	0.0175
Femur	0.0208	0.0049
Horse	0.0084	0.0027
Pieta	0.0392	0.0085
Shape	0.0537	0.0161
Skull	0.0284	0.0200
Triceratops	0.0205	0.0071



(a) 원래의 모델



(b) IBM 방법의 결과



(c) 제안한 방법의 결과

그림 3. Triceratops 모델에 대한 결과 비교

그림 3은 꼭지점당 8비트를 할당하였을 때 복원된 Triceratops 모델을 보여준다. 이 모델은 얼굴부분과 발가락 등이 복잡한 모델로 3100개의 꼭지점을 가지고 있다. (a)는 원래의 모델이고, (b)는 IBM 방법에 의한 결과이며, (c)는 제안한 방법의 결과이다. 주관적인 평가로 보아도, IBM 방법은 원래의 모델과 비교하여 복원된 모델의 표면이 매끄럽지 못하고 울퉁불퉁한 결과를 보였다. 특히 얼굴이나 발가락 등의 복잡한 부분은 눈에 띄게 왜곡된 것을 볼 수 있다. 이에 비해, 본 논문에서 제안한 방법은 원래의 모델과 비교하여 표면이 많이 매끄럽고, 얼굴이나 발가락등에서의 특징이 IBM 방법보다는 왜곡이 덜하여 주관적인 평가도 우수함을 알 수 있다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 삼차원 모델의 기하학 정보를 효율적으로 부호화하는 방법을 제안하였다. 메쉬 구조를 가진 삼차원 모델의 꼭지점들을 Vertex Spanning Tree의 순서를 따라 꼭지점들에 대한 예측 오류를 구하고, 최적의 양자화기를 설계하여 부호화하였다. 실험적으로도 다양한 BPV에 대해서 IBM 방법보다 평균 오류가 줄어들었고, 주관적인 평가도 좋은 성능을 보였다.

#### 5. 참고문헌

- [1] Ad hoc Group on MPEG-4 SNHC, "MPEG-4 SNHC Verification Model 9.0", ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG98/M3809, July, 1998.
- [2] Ad hoc Group on 3D Model Coding, "Description of Core Experiments on 3D Model Coding", ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG98/M3793, July, 1998.
- [3] G. Taubin and J. Rossignac, "Geometric Compression Through Topological Surgery", ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG98/M3059, Feb. 1998.
- [4] G. Taubin and W. Horn, F. Lazarus, and J. Rossignac, "Geometric Coding and VRML", ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG98/M3061, Feb. 1998.
- [5] J. Li and C. Kuo, "A Dual Graph Approach to 3D Triangular Mesh Compression", ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG98/M3195, Feb. 1998.
- [6] Y.S.Ho and J.H.Ahn, "Geometry Compression of 3D Meshes using Optimal Quantization for Prediction Errors", JTC1/SC29/WG11 MPEG98/M3751, July 1998.
- [7] A. K. Jain, *Fundamentals of Digital Image Processing*, Prentice Hall, 1989.