1998年度 第11回 信號處理合同學術大會 論文集 第11卷 1號

구 좌표계에서 삼차원 모델의 적응적 부호화 방법

안정환*, 한만진**, 호요성*

*광주과학기술원 정보통신공학과
광주광역시 광산구 쌍암동 572번지

**삼성종합기술원 수퍼컴응용연구실
수원우체국 사서함 111

An Adaptive Method for 3D Model Coding Using The Spherical Coordinate System

Jeong-Hwan Ahn*, Mahn-Jin Han** and Yo-Sung Ho*

*Kwangju Institute of Science and Technology
572 Ssangam-Dong Kwangsan-Gu, Kwangju, Korea
E-mail: jhahn@gogh.kjist.ac.kr

**Samsung Advanced Institute of Technology
P.O.Box 111, Suwon, Korea
E-mail: manjini@samsung.co.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 and transmission. In this paper, we propose an adaptive encoder to compress the geometry information of the 3D model. The encoder first predicts vertex positions along a spanning tree or a dual graph. The prediction residual error of each vertex point is represented in the spherical coordinate system (r,q,f). Each r is then quantized by an optimal uniform quantizer. A pair of each (q,f) is also successively encoded by partitioning the surface of the sphere according to the quantized value of r. The proposed scheme demonstrates improved coding efficiency by exploiting the statistical properties of r and (q,f).

1. 서론

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

일반적으로 삼차원 물체는 삼각형 그물 구조(Mesh)로 나타내는데, 이것은 연결성(Connectivity) 정보, 기하학(Geometry) 정보, 색(Color)과 법선(Normal) 벡터, 그리고 텍스쳐(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, 텍스쳐 정보는 삼차원 물체를 렌더링하는데 필요한 정보를 가지고 있다.

보통 꼭지점들은 32비트 유동 소숫점 형태의 삼차원 벡터 (X,Y,Z)로 이루어져 있으며, 연결성 정보는 이런 꼭지점들의 연결 관계를 정수 형태로 나타낸다. 그러나 삼각형 메쉬의 수는 보통 $10^5 \sim 10^7$ 정도로 그 데이터의 양이 엄청나게 많아, 이러한 3차원 데이터를 그대로 전송, 저장, 또는 렌더링하는데 많은 문제점이 있다. 따라서 이런 문제점을 해결하기 위해 3차원 물체를 이루는 꼭지점 값들에 대한 데이터 압축 방법이 필요하다.

미국의 IBM[2]에서는 우선 각 꼭지점의 좌표값을 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 좌표값들의 DPCM을 통해 예측 오류를 구하고, 이 예측 오류를 (r,q,f)의 구 좌표계로 변환시킨다. 이렇게 변환된 값들은 각각 그들의 통계적인 특성을 이용하여 적응적으로 양자화된다. 여기서 r은 구 좌표계에서의 반지름에 해당하는데, Fitting 알고리즘을 이용하여 Rayleigh 분포로 근사화시켰다. 그리고 (q,f)는 양자화된 r의 값에 따라 적응적으로 구의 표면적을 분할하여, r과 관계없이 양자화 오류가 일정하도록 하였다. 또한 VRML 데이터에 대한 실험을 통해 기존의 방법과 제안된 방법의 성능을 비교하였다.

2. 삼차원 모델의 부호화 방법

본 논문에서 제안한 방법의 블록도를 그림 1에[3] 제시하였다. 먼저 입력 값들에 대해 전처리 단계에서는 좌표축 별로 예측 오류에 대한 평균과 분산을 계산한다. 여기서 계산된 값을 가지고 부호화 블록에서는 좌표축 별로 예측 오류를 정규화한 후, 이를 구 좌표계로 변환한다. 그리고 (r,q,f)별로 각각 통계적인 특성을 고려하여 적응적으로 양자화한 후, 허프만 부호화기를 이용하여 엔트로피 부호화한다.

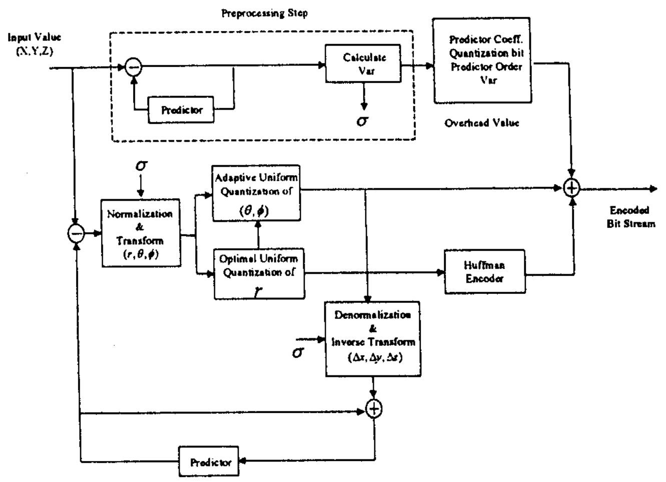


그림 1. 제안된 3차원 모델의 부호화 방법

2.1 선형 예측 방법

삼차원 모델의 각 꼭지점 $v_n = (x_n, y_n, z_n)$의 예측값 $\overline{v_n} = (\overline{x_n}, \overline{y_n}, \overline{z_n})$은 IBM에서 제안한 Vertex Spanning Tree, Triangle Spanning Tree[4]나 USC에서 제안한 Dual Graph [5,6]에서 정의된 꼭지점들에 대한 Farther-Son 관계에 따라 식(1), 식(2), 식(3)처럼 선형 예측할 수 있다.

$$\overline{x_n} = \sum_{i=1}^{P} \lambda_{x_i} x_{n-i} \tag{1}$$

$$\overline{y_n} = \sum_{i=1}^{P} \lambda_{y_i} y_{n-i} \tag{2}$$

$$\overline{z_n} = \sum_{i=1}^{P} \lambda_{z_i} z_{n-i} \tag{3}$$

여기서 p는 예측 차수이며, $\lambda_{x_i}, \lambda_{y_i}, \lambda_{z_i}$는 예측 계수이다. 예측 계수의 값은 Levinson-Durbin 알고리즘[4]을 통하여 (X,Y,Z)별로 구해진다. 그리고 예측 오류 $(\Delta x_n, \Delta y_n, \Delta z_n)$는 식(4), 식(5), 식(6)처럼 구한다.

$$\Delta x_n = x_n - \overline{x_n} \tag{4}$$

$$\Delta y_n = y_n - \overline{y_n} \tag{5}$$

$$\Delta z_n = z_n - \overline{z_n} \tag{6}$$

2.2 예측 오류에 대한 정규화 및 구 좌표 변환

좌표값들에 대한 예측 오류 $\Delta x, \Delta y, \Delta z$가 계산되고 나면 전처리 과정에서 구해진 평균과 분산으로 예측 오류를 평균은 0이고 분산이 1인 분포로 정규화한다. 정규화된 각 예측 오류 벡터(Dx, Dy, Dz)는 다음의 관계를 이용하여 구 좌표계로 변환된다

$$r = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2} \tag{7}$$

$$\theta = \tan^{-1} \Delta y / \Delta x \tag{8}$$

$$\phi = \cos^{-1} \Delta z / r \tag{9}$$

원래 정규화된 각각의 예측 오류 벡터(□x, □y, □z)는 Laplacian 분포를 가진다. 그러나 반지름 r은 식 (7)과 같은 Chi-square 분포의 형태를 가진다. 따라서 r의 분포를 최적으로 양자화하기 위해서는 r의 분포를 구해야 한다. 본 논문에서는 r의 분포를 Fitting 방법을 적용하여 식 (10)과 같이 근사화하였다.

$$f_r(r) = re^{-\alpha r^2}, \quad r \ge 0 \tag{10}$$

그림 2에서 보는 것처럼 a가 0.372일때 식 (10)은 원래 r의 분포와 거의 일치함을 알 수 있다. 표 1은 식 (10)을 이용하여 설계한 최적 균등 양자화(Optimal Uniform Quantization) 간격을 나타낸다.

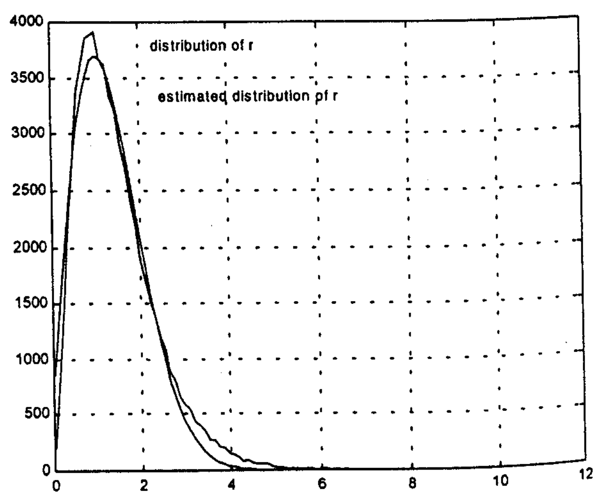


그림 2. 근사화한 r의 분포

표 1: Optimum Uniform Quantizer의 Step Size

No. of Output Levels	Step Size
2	2.9061
4	1.4123
8	0.8125
16	0.4505
32	0.2476
64	0.1349
128	0.0729
256	0.0390
512	0.0208
1024	0.0110
2048	0.0058
4096	0.0030

표 1에서 구한 양자화 Step Size를 이용하여 반지름 r를 균등 양자화하고, 양자화 값에 대한 인덱스는 허프만 부호화기를 이용하여 엔트로피 부호화한다. 여기서 양자화 크기와 분포는 고정되어 있기 때문에 허프만 테이블과 양자화 크기를 전송할 필요는 없다.

2.3 (□,□)의 적응적 부호화 방법

구 좌표계에서는 보통 반지름 r과 (□,□)의 각도로 하나의 점을 표시하는데, r은 일반적으로 라플라시안 분포의 제곱의 형태로 Chi-square 분포를 가지고 있다. 본 논문에서는 (□,□)를 최적으로 부호화하기 위하여 r에 기반을 둔 적응적 양자화 방법을 개발하였다.

일반적으로 구 좌표계에서는 그림 3과 같이 반지름 r이 커지면 같은 각도에 대해서 구의 표면적 S는 r의 제곱으로 커진다.

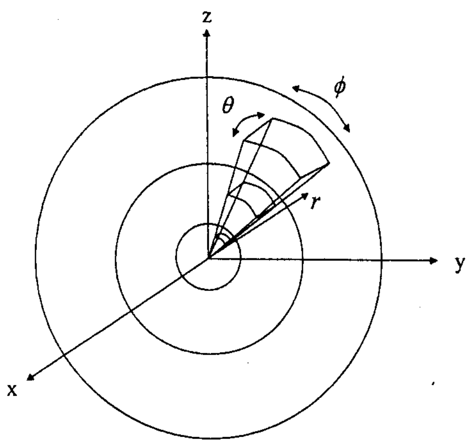


그림 3. r, θ, ϕ 사이의 관계

만일 반지름 r인 구의 표면적을 n^2 부분으로 분할하고, n^2개의 양자화 점이 구의 표면에 균등하게 분포가 되어 있다고 생각해 보자. 반지름 r이 1/2로 작아지면 표면적은 1/4로 줄어들므로, 양자화 점의 개수도 1/4로 줄어든다. 이때 전체적인 양자화 평균 오류는 r이 작아지기 전의 값과 같게 된다. 따라서 똑같은 양자화 오류를 얻기 위해서 r이 작을 때는 (□,□)에 적은 비트를 할당하고, r이 클 때에는 (□,□)에 상대적으로 많은 비트를 할당한다. 그런데 일반적으로 r의 분포는, 그림 2에 나타낸 것처럼, 0근처에 몰려있으므로, 통계적인 관점에서 전체적인 부호화 비트수가 줄어들게 된다.

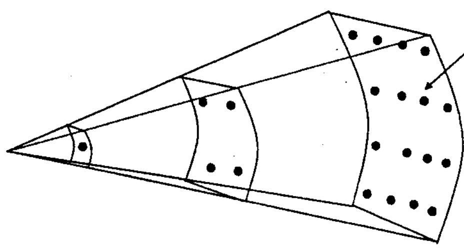


그림 4. 구 표면의 특성

그림 5는 (q,f)의 적응적 부호화 블록도이다. (q,f)는 양자화된 r의 값에 따라 적응적으로 구의 표면이 분할되어 양자화 값이 구해진다.

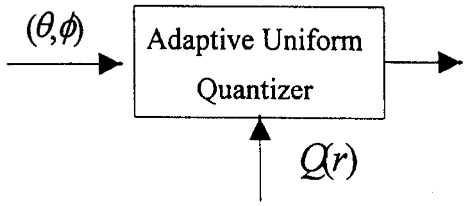


그림 5. (□,□)의 적응적 부호화 방법

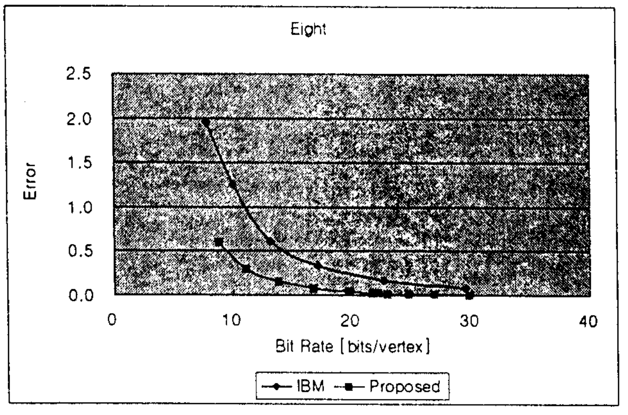
3. 실험 결과

본 논문에서는 현재 3차원 데이터의 처리를 위해 널리 쓰이고 있는 VRML(Virtual Reality Modeling Language)모델에 대해 C언어를 이용하여 제안한 방법을 구현하였다. 실험에 사용한 데이터는 다음과 같다.

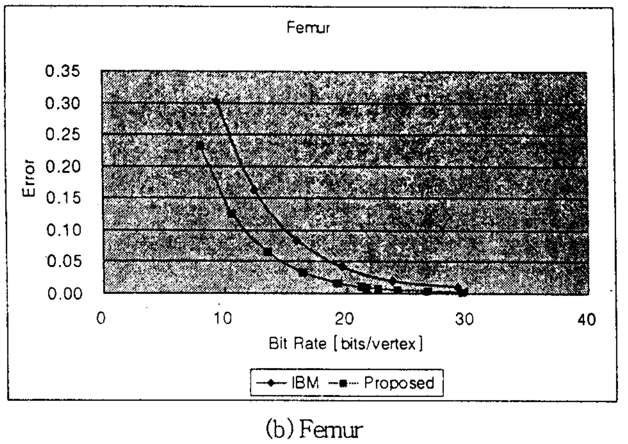
표 2. 실험에 사용한 데이터

이름	꼭지점 수	다각형의 수
Eight	766	1535
Femur	3897	7798
Horse	11135	22258
Skull	10952	22104

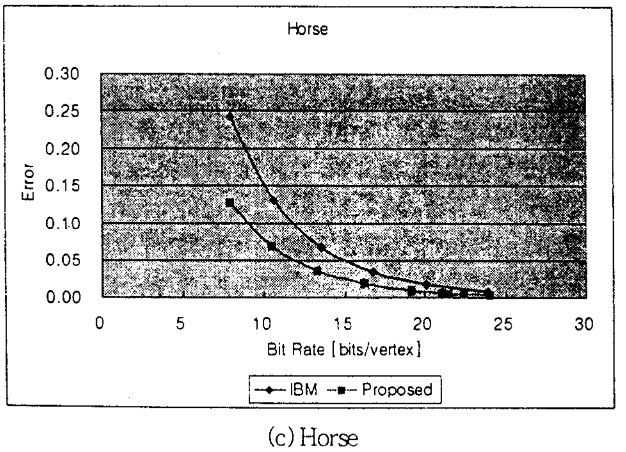
꼭지점들의 Father-Son 관계를 알기 위하여 IBM 에서 만든 Vertex Spanning Tree 를 이용하였다. 그리고 복원한 영상과 원래 영상과의 오류를 구하기 위하여 다음의 방법을 사용하였다. 압축해서 복원한 모델의 표면에 일정한 수의 점을 찍고, 원래 모델의 같은 표면에서의 점들과의 평균 거리를 오류로 정의하였다. 그림 6 은 제안된 방법과 IBM 방법과의 결과를 비교한 것이다. 여기서 X 축은 꼭지점당 비트를 나타내며, Y 축은 모델의 오류를 나타낸다.



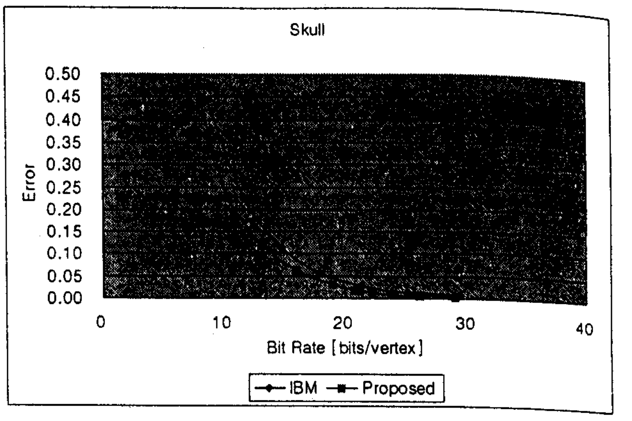
(a) Eight



(b) Femur



(c) Horse



(d) Skull

그림 6. 제안된 방법과 IBM 방법과의 결과 비교

그림 6 에서 보듯이, 제안된 방법이 IBM 방법보다 같은 BPV(Bits Per Vertex)에 대해서 오류가 작으므로 성능이 더 좋은 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 (r,q,f)의 구 좌표계에서 예측 오류에 대한 통계적인 특성을 이용한 3차원 모델에 대한 부호화 방법을 제안하였다. 실험 결과에서 보듯이 다양한 BPV 에 대해서 IBM 방법보다 평균 오류가 줄어들었다.

5. 참고문헌

[1] Ad hoc group on MPEG-4 SNHC, "MPEG-4 SNHC Verification Model 9.0", ISO/IEC JTC1/SC29WG11 MPEG98/M3809, July, 1998.

[2] Y.S.Ho and J.H.Ahn, "Adaptive Quantization Method for 3D Mesh Representation using the Spherical Coordinate System", ISO/IEC JTC1/SC29WG11 MPEG98/M3752, July, 1998.

[3] G. Taubin and J. Rossignac, "Geometric Compression Through Topological Surgery", ISO/IEC JTC1/SC29WG11 MPEG98/M3059, Feb. 1998.

[4] J. Li and C. Kuo, "A Dual Graph Approach to 3D Triangular Mesh Compression", ISO/IEC JTC1/SC29WG11 MPEG98/M3195, Feb. 1998.

[5] J. Li and C. Kuo, "Embedded Coding of Mesh Geometry", ISO/IEC JTC1/SC29WG11 MPEG98/M3325, March 1998.

[6] A. K. Jain, *Fundamentals of Digital Image Processing* Prentice Hall, 1989.