2차 곡면 정합을 이용한 점진적 압축 기법

고영준 안재균 이대연 김창수
고려대학교 전기전자전파공학부
{koyongjun, jkahn, inomi, changsukim}@korea.ac.kr

Progressive Compression of 3D Triangular Meshes Using Quadratic Surface Fitting

Yeong Jun Koh Jae-Kyun Ahn Dae-Youn Lee Chang-Su Kim
School of Electrical Engineering, Korea University

요약

3차원 메쉬는 전송과 저장에 많은 저장 공간을 필요로 한다. 따라서 3차원 메쉬의 효과적인 전송 및 렌더링을 위해서는 3차원 객체에 대한 압축이 필수적이다. 이에 본 논문은 점진적 전송을 위한 기하 정보 압축 기법을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 점진적 전송에서 각 레벨마다 추가되는 점의 기하 정보를 예측하는 효과적인 방법을 사용한다. 구체적으로 제안하는 기법은 상위 레벨의 점들을 이용하여 2차 곡면을 추정하고, 추정된 곡면을 통해 기하 정보를 예측 부호화한다. 실험 결과는 제안하는 알고리즘이 기하 정보 압축률을 향상시킬 수 있음을 보여준다.

1. 서론

3차원 메쉬는 3차원 객체를 표현할 수 있는 그래픽 데이터로써, 비디오 게임, 산업 디자인, 건축 설계, 의학, 과학 시뮬레이션 등의 다양한 응용 분야에서 폭넓게 사용된다. 최근 3D 산업이 성장함에 따라 3차원 메쉬 모델의 크기와 복잡도가 증가하여 3차원 메쉬를 이용하는데 큰 저장 공간과 긴 전송 시간이 요구되고 있다. 따라서 효과적으로 메쉬를 전송하기 위해서는 3차원 메쉬의 효율적인 압축이 필요하다. 3차원 메쉬는 연결 정보와 기하 정보로 구성된다. 연결 정보는 인접한 점들간의 관계를 명시하고, 기하 정보는 점들의 3차원 좌표 위치를 나타낸다. 3차원 메쉬 압축의 초기 연구는 단일 비트율 압축이 중점적으로 이루어졌다. 하지만 단일 비트율 압축은 3차원 메쉬에 대한 연결, 기하 정보를 한번에 압축하는 기법으로서 [1], 압축률이 높지만 3차원 객체를 점진적으로 복원할 수 없는 한계가 있다.

이러한 문제점을 개선하기 위해 점진적 전송을 이용한 압축 기법이 연구되었다 [2, 3, 7]. 점진적 압축은 기존 3차원 메쉬의 간소화 과정을 통해 얻은 대략적인 기저 형태를 우선 전송하고 세부 정보를 순차적으로 압축하여 전송하는 기법이다. 복호기에서는 기저 형태의 메쉬에 비트열(bitstream)로부터 얻은 세부정보를 추가하여 3차원 모델을 세부 정보가 적은 레벨에서 정밀한 레벨의 순서로 재구성한다. 세부 정보를 추가 할수록 메쉬를 이루는 점의 수가 증가하여 높은 해상도의 메쉬로 복원시킬 수 있다. 점진적 압축 기법은 제한된 대역폭의 네트워크 상에서 복잡한 메쉬를 전송하는 응용에 적합하다.

본 연구는 점진적 압축을 위한 곡면 정합(plane fitting)을 이용한 기하 정보 예측 기법을 제안한다. 점진적 압축을 통해 메쉬를 여러 개의 레벨로 나누면, 각 레벨에서 추가되는 점들은 세부 정보가 적은 전 레벨의 점들로부터 예측할 수 있다. 그리고 실제와 예측한 점의 차이값을 부호화 한다. 기존의 방법은 인접한 점들의 평균값을 예측값으로 설정하여 그 차이를 구하는 것이다. 압축의 성능을 높이기 위해 인접한 점들을 이용하여 2차 곡면을 구성하는 정합을 이용한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 기하 정보 예측 방법을, 3장에서는 곡면 정합의 기법에 대해 기술한다. 4장에서는 실험 결과를 검토하고, 마지막으로 5장에서는 본 논문의 결론을 짓는다.

2. 기하 정보 예측

점진적 압축 기법은 메쉬 간소화를 통해 여러 개의 중간 해상도 메쉬를 표현하므로 레벨 l에서 제거된 점들의 좌표는 레벨 $l-1$의점들로부터 예측할 수 있다. 예측된 좌표가 얻어지면 부호기에서는 실제 위치와 예측한 위치의 차이를 부호화하므로 예측이 정확할수록 압축 효율이 높다. 예측 방법으로는 Alliz와 Desbrun가 제안한 무게중심 예측 기법(barycentric prediction)이 대표적이다[2]. 무게중심은 연결되어 있는 인접한 점들의 평균으로 구할 수 있으며, v_i 점의 무게중심 $v_i{}'$은 다음과 같다.

$$\mathrm{v_i}' = \frac{1}{d_i}\sum_{j=1}^{d_i} \mathrm{v_j}, \qquad (1)$$

여기에서 d_i는 점 i의 벨런스를, v_j는 v_i와 열결되어 있는 인접한 점들을 나타낸다. 무게중심으로 예측하는 방법은 연산이 간단하여 복잡도가 낮은 장점이 있다.

3. 곡면 정합 기법

기존 방법을 통해 얻은 무게중심 좌표는 메쉬의 곡률적 특성을 고려하지 않아 예측의 정확도가 떨어진다. 이러한 문제를 개선하기 위해

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2010-(C1090-1011-0003))

제안하는 기법은 곡면 정합 기법을 이용하여 점의 위치를 예측한다. 일반적으로 인접한 점들과 무게중심을 통해 추정된 곡면은 곡률을 가지므로 예측점을 추정된 곡면위에 위치하도록 조정하면 더 정확하게 예측할 수 있다.

일반적으로 정합에서 사용되는 곡면은 인접한 점들을 이용하여 추정될 수 있다. 하지만 인접한 점만으로 추정 할 경우, 예측된 곡면이 불안정 할 수 있으므로 무게중심의 좌표 값을 고려한다. 여기서 인접한 점들의 정보는 이미 부호화가 끝난 상위 레벨의 점들이기 때문에 복호기에서도 동일한 과정을 수행할 수 있다. 곡면 정합에 사용되는 점들의 집합을 $S=\{\mathrm{v}_1, \mathrm{v}_2, \ldots, \mathrm{v}_\mathrm{n}\}$로 둔다. 여기서 v_i는 $(\alpha_i, \beta_i, \gamma_i)$로 구성된 지역 좌표를 의미하며, α는 법선 성분이고, β, γ는 탄젠트 성분이다 [2]. 메쉬의 표면은 일반적으로 볼록하거나 오목한 형태이기 때문에, 2차원 곡면으로 예측하는 것이 효과적이며 곡면 모델은 다음과 같다.

$$a\beta^2 + b\gamma^2 + c = \alpha. \tag{2}$$

식 (2)의 곡면을 추정하기 위해 대입할 지역좌표의 값들은 계수의 수보다 항상 많으므로 $\| A\mathrm{x} - \mathrm{b} \|^2$을 최소화 하는 최소자승법(least square)을 통해 계수를 구한다. 따라서 최소자승법에 적용하기 위해 행렬과 벡터를 구성하면 다음과 같다.

$$A = \begin{bmatrix} \beta_1 & \gamma_1 & 1 \\ \beta_2 & \gamma_2 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \beta_n & \gamma_n & 1 \end{bmatrix}, \quad \mathrm{b} = \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \vdots \\ \alpha_\mathrm{n} \end{bmatrix}, \tag{3}$$

여기서 $(a, b, c)^T$인 x는 다음과 같은 행렬 연산으로 구할 수 있다.

$$\mathrm{x} = (A^T A)^{-1} A^T \mathrm{b}. \tag{5}$$

행렬 연산을 통해 얻은 벡터 x의 성분으로 식 (2)을 완성시킬 수 있다. 그리고 β, γ의 자리에 무게중심의 지역좌표 값을 대입하여 기존 무게중심의 x좌표보다 실제 위치에 근접한 보정된 x좌표 값을 얻을 수 있다.

곡면 정합에서 사용되는 역행렬 연산은 $O(n^3)$의 복잡도가 필요하지만 행렬 자체의 크기가 3×3이므로 연산에 많은 시간이 소요되지는 않는다.

4. 실험 결과

본 논문에서는 제안하는 기법의 성능을 확인하기 위해 점의 수가 1086개인 "sphere" 모델을 사용한다. 압축 성능을 비교를 위해 제안하는 기법과 Alliz & Desbrun [3] 기법을 비교하였다. 제안하는 기법은 연결 정보 압축으로 Alliz & Desbrun 기법을 차용하였으며, 엔트로피 코딩을 위해 비트 플레인 코딩[4]을 사용하였다.

그림 1은 제안하는 기법과 Alliz & Desbrun 기법의 압축 성능을 나타내는 R-D 커브이며, 메쉬의 왜곡은 MESH tool[4]를 통해 획득한 root mean square (RMS) 값이다. 그래프의 각 점들은 중간 해상도 메쉬의 성능을 의미하며 커브를 통해 제안하는 기법의 성능이 Alliz & Desbrun 기법보다 우수함을 확인할 수 있다.

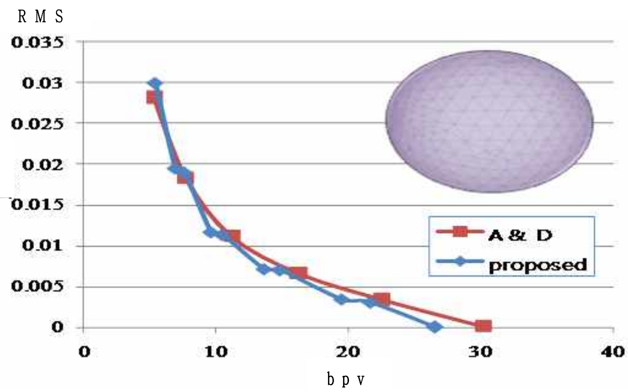

그림 1. 2차 제안하는 기법과 A&D 기법의 R-D 그래프

최종 복원된 메쉬의 비트율은 26.50 bpv으로, Alliz와 Desbrun의 30.17 bpv에 비해 약 12.13 % 의 압축 이득이 발생한다. 점진적 압축의 초기 단계에 Alliz와 Desbrun와 성능 차이가 별로 없는데, 이는 초기 단계에서 메쉬의 세부 정보가 부족하여 정밀한 곡면을 구성하지 못하기 때문이다.

5. 결론

본 논문에서 3차원 메쉬의 점진적 압축에서 효과적인 기하 정보 압축 기법을 제안하였다. 제안된 기법은 점진적 압축의 각 레벨에서 2차 곡면을 이용하여 부호화할 점의 위치를 보다 정확히 예측한다. 실험 결과를 통해 제안하는 기법이 무게중심 예측보다 더 높은 압축률을 보임을 확인하였다. 제안하는 기법은 연결된 점과 무게중심 좌표를 사용하여 곡면 정합을 하였으나 곡면 정합 기법이 사용되는 점에 따라 성능이 달라질 수 있으므로 향후 연구를 통해 성능을 향상 시킬 수 있을 것이다.

6. 참고문헌

[1] C. Touma and C. Gotsman, “Triangle mesh compression,” in *Proc. Graphics Interface*, pp. 26-34, 1998.

[2] H. Hoppe, “Progressive meshes,” in *Proc. ACM SIGGRAPH*, pp. 99-108, 1996.

[3] P. Alliez and M. Desbrun, “Progressive encoding for lossless transmission of triangle meshes,"in *Proc. ACM SIGGRAPH*, pp. 198-205, 2001.

[4] J.-K. Ahn, D.-Y. Lee, M. Ahn, J. D. K. Kim, C. Kim, and C.-S. Kim, "Progressive compression of 3D trianglular meshes using topology_based karhunen_loeve transform," in *Proc. ICIP*, pp. 3417-3420, 2010.

[5] N. Aspert, D. Santa-Cruz, and T. Ebrahimi, “MESH: Measuring Error between Surfaces using the Hausdorff distance,” i*n Proc. ICME*, pp. 705-708, 2002.

[7] J. Peng and C._C. J. Kuo, "Geometry-guided progressive lossless 3D mesh coding with octree (OT) decomposition," *ACM Trans. Graph*, pp. 609-616, 2005.