

## 공간 계층 분해를 이용한 효율적인 3차원 메쉬 시퀀스 압축

안재균, 김창수  
고려대학교

demian@korea.ac.kr, changsukim@korea.ac.kr

Efficient 3D Mesh Sequence Compression Using a Spatial Layer  
DecompositionJae-Kyun Ahn Chang-Su Kim  
Korea University

## 요 약

본 논문에서는 공간 계층 분해를 이용한 3차원 메쉬 시퀀스 압축 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 우선 각 점에 대한 시간적 궤적을 공분산 행렬로 표현하고, PCA(Principal component analysis)를 적용하여 시간 궤적에 대한 고유 벡터와 PCA 계수를 획득한다. 공간적인 예측을 통해 PCA 계수에 대한 벡터 차를 추출하고, 벡터 차와 그것에 대한 고유 벡터를 전송한다. 제안하는 방법은 PCA 계수 예측의 성능을 높이기 위해 점진적 압축에서 사용하는 공간 계층 분해 기법을 적용하여, 계수 예측에 효과적인 이웃 점을 지정하도록 한다. 또한, 이웃 점 개수를 사용자가 임의로 지정할 수 있도록 하여, 성능과 복잡도간의 트레이드 오프를 제어할 수 있도록 한다. 다양한 모델에 대한 실험 결과를 통해 제안하는 방법의 성능을 확인한다.

## 1. 서론

메쉬는 포인트 클라우드와 함께 3차원 객체를 표현하는 대표적인 방법으로 다양한 응용분야에 사용된다. 최근에는 3차원 TV 산업의 성장으로 인해, 메쉬와 같은 3차원 콘텐츠에 대한 수요도 같이 증가하는 추세이다. 하지만 기존의 음성 및 영상 신호와 달리, 3차원 메쉬는 대용량의 저장 공간을 필요로 하므로, 메쉬를 효율적으로 전송 또는 저장하기 위해서는 압축 기술이 선행되어야 한다.

메쉬 시퀀스를 압축하기 위해 다양한 기술들이 제안되었다. 메쉬 시퀀스의 기하 정보를 압축하는 기술은 전송하는 방법에 따라 단일 비트율 기법과 점진적 압축 기법으로 나뉜다. 단일 비트율 기법은 전체 프레임을 한번에 압축하는 방법으로써 상대적으로 높은 압축률을 보인다[1-3]. 반면 점진적 압축 기법은 실제 네트워크 전송에 적합하도록 프레임을 그룹 단위로 분리하여 각각 압축 하는 방법이다[4]. 따라서 메쉬 시퀀스를 저장할 때는 단일 비트율 압축이 효과적이며 전송할 때에는 점진적 압축 기법이 효과적이다. 본 논문에서는 효율적인 단일 비트율 압축을 제안한다.

## 2. 메쉬 시퀀스의 기하정보 압축

동형 메쉬는 특성상 연결 정보가 전체 프레임에서

동일하므로 대부분의 압축 기술은 연결 정보 보다 기하 정보 압축에 중점을 둔다. 따라서 대부분의 단일 비트율 압축 기법은 각 점에 대한 시간적 궤적을 공분산 행렬로 표현하고, 이에 PCA 를 적용하여 중복되는 값을 최소화한다. 최종적으로 고유값 (eigen value)이 높은  $n$  개의 고유 벡터 (eigen vector)와 그에 대응하는 PCA 계수를 전송한다. 여기서 PCA 계수는 시간 축에 대한 중복성만을 최소화한 정보이므로, PCA 를 사용하는 압축 기법들은 각 PCA 계수를 공간적으로 예측 및 보상하여 압축 성능을 높인다. Vása 와 Skala 의 기법의 경우[3], 초기 전송된 연결 정보에 패치 기반의 간소화를 적용시켜 점들을 몇 개의 공간 계층으로 분해한다. 가장 점의 개수의 작은 계층부터 점의 개수가 많은 계층 순서로 제거된 점들의 PCA 계수를 공간적으로 예측하며, 예측 시에 시간적 유사성도 반영하기 위해 RBF (Radial Basis Function)을 적용하여 예측의 정확도를 높인다.

제안하는 방법은 Vása 와 Skala 의 기법의 방법을 기본으로 하여 전체적으로 동일한 형태로 메쉬 시퀀스를 압축한다. RBF 를 이용한 PCA 계수 예측은 전체 성능을 높이는데 큰 비중을 차지하며, 특성상 이웃 점들에 의해 영향을 많이 받는다. 따라서 우리는 J.-K. Ahn 등이[4] 제안한 공간 계층 분해를 메쉬 간소화에 적용하여 RBF 를 이용한 PCA 계수 예측의 정확도를 높인다. 이 방법은 공간 계층 분해 시 원본 연결 정보를 그대로 사용하기 때문에 예측에 도움이 되는 이웃 점을 지정하고 예측에 도움이 되지 않는 점을 배제하는 장점이 있다. 또한, 분해되는 공간 계층 개수가 메쉬를 구성하는 점의 개수와 동일하므로, 예측 시 더 효과적인 이웃 점 구성이 가능하다.

Vása 와 Skala 가 사용한 간소화 가법은 공간 계층 분해 시 점을 제거한 후에 메쉬를 재구성하는 형태로, 예측에 사용 되는 이웃 점 들은 패치를 구성하는 1-ring 이웃들이다. 비록 1-ring 이웃들이 제거된 점과 직접적으로 연결되어 있지만,

\* 이 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(No. 2012-011031) 및 2012년 미래 창조과학부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 <실감교류 인체감응물루션> 글로벌프론티어사업으로 수행된 연구임 (2011-0031648).

제거된 점과 이웃 점 간의 기하 거리는 재구성 과정에 인해 불균일해지는 경향이 있으므로 1-ring 에 있는 모든 점들이 항상 예측에 도움을 주는 것은 아니다. 반면 J.-K. Ahn 등이 제안한 공간 계층 분해 기법은 제거된 점의 이웃들을 토폴로지 거리가 가깝고 현재 계층에서 활용할 수 있는 점들로 정의한다. 여기서 토폴로지 거리는 연결 정보를 재구성한 토폴로지가 아니라 메쉬의 원본 토폴로지를 사용한다. 왜냐하면 간소화되기 전 초기 연결 정보의 경우 토폴로지 거리가 실제 기하 거리와 상당한 유사성이 있기 때문이다. 최종적으로 현재 계층  $l$  에서 예측에 사용되는 이웃 점 집합  $N(v, l, d_v)$  은 제거된 점  $v$  의 토폴로지 거리  $d_v$  에 의해 결정되며 다음과 같다.

$$N(v, l, d_v) = \cup_{i=1}^{d_v} A_i(v, l), \quad (1)$$

여기서  $A_i(v, l)$  은 예측에 사용할 수 있는 활성화된 점들 중 토폴로지 거리가  $i$  인 점들의 집합이다. J.-K. Ahn 등이 제안한 기법에서는 식 (1)에서  $d_v$  의 값을  $N(v, l, d_v)$  의 개수가 3 개 이상이 되도록 지정한다[4]. 왜냐하면 여기서 사용하는 공간 계층 분해는 점진적 압축 기법에 특화되어 있으므로 예측 시 이웃 점 개수가 많으면 오히려 예측이 부정확해지는 경향이 있기 때문이다. 반면 제안하는 방법은 점진적 압축 기법이 아니며, 지역 좌표계도 사용하지 않으므로, 이웃 점의 개수를 임의로 지정할 수 있는 장점이 있다. RBF 를 이용한 PCA 계층의 공간적 예측은 이웃 점의 개수가 많을수록 정확도가 높고 작을수록 정확도가 낮은 특성이 있다. 따라서 제안하는 방법은 J.-K. Ahn 등이 제안한 공간 계층 분해를 통해 예측하고자 하는 점의 이웃 점 개수를 사용자가 지정할 수 있도록 한다. 이웃 점의 개수가 증가하면 RBF 를 이용한 PCA 계층의 공간적인 예측의 정확도가 높아져서 전체 압축 성능을 향상시키지만, 그에 대한 계산 복잡도도 증가하므로, 제안하는 기법은 이웃 점 개수 지정을 통해 환경에 적응적인 메쉬 시퀀스 압축이 가능하도록 한다. 따라서 예측에 사용되는 최종적인 이웃 집합은 사용자가 지정한 이웃 점 개수  $k$  에 따라 결정되며, 식 (1)에서  $d_v$  를  $|N(v, l, d_v)| \geq k$  될 때까지 증가시킨다. 만약  $|N(v, l, d_v)|$  가  $k$  보다 크면  $|N(v, l, d_v)|$  에서 토폴로지 거리가 가까운 순서로  $k$  개만 지정하여 이웃 점 집합을 구성한다. 최종적으로 간소화의 역순으로 PCA 계층을 예측하며, 예측을 통해 추출한 벡터 차와 고유 벡터를 각각 양자화하여 엔트로피 부호화한다. 여기서 엔트로피 부호화는 J.-K. Ahn 등이 제안한 비트 평면 부호기[4]를 그대로 사용한다.

### 3. 실험 결과

제안하는 방법의 성능을 평가하기 위해 Vása 와 Skala 가 제안한 대표적인 압축 기법과 제안하는 방법을 비교하였다. 앞서 설명하였듯이 제안하는 방법은 예측하고자 하는 이웃 점의 개수를 사용자가 임의로 지정할 수 있으므로, 이웃 점의 개수가 6 개, 10 개 그리고 20 개인 경우를 모두 비교하였다. 여기서 이웃 점의 개수가 6 개인 경우는 기존 방법에서 사용하는 이웃 점의 개수와 유사하다. 왜냐하면 대부분의 메쉬에서 각 점의 밸런스 평균은 6 이기 때문이다. 압축된 데이터의 비트율은 bvpvf(bits per vertex per frame)으로 나타내었고, 복원된 메쉬 시퀀스의 왜곡은 KG error[1]로 비교하였다. 표 1 은 이웃 점의 개수를 6 개로 지정했을 때의

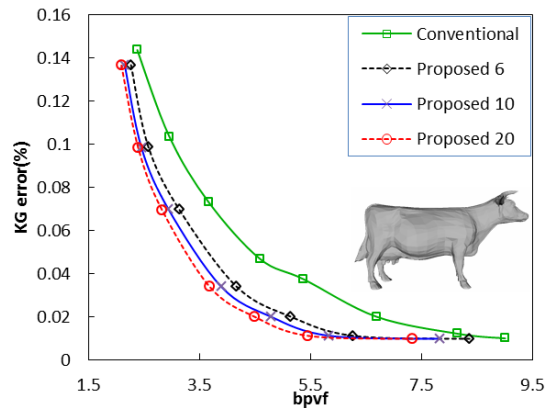


그림 1. “Cowheavy” 모델에 대한 R-D 커브 비교

표 1. 제안한 알고리즘의 성능 비교

Model	Vása & Skala [2]		제안하는 방법	
	bvpf	KG (%)	bvpf	KG (%)
Cow	5.38	0.04	4.17	0.03
Dance	0.67	0.05	0.64	0.05
Snake	0.84	0.04	0.84	0.04

성능 비교를 나타내며, 그림 1 은 “Cowheavy” 시퀀스의 R-D 커브를 보여준다. 결과를 통해 제안하는 방법의 성능이 기존 방법보다 우수하며, 이웃 점의 개수가 증가할수록 성능이 향상됨을 확인할 수 있다.

### 4. 결론

본 논문에서는 공간 계층 분해를 이용한 3 차원 메쉬 시퀀스 압축 기법에 대해 제안하였다. 제안하는 방법은 점진적 압축에서 사용하는 공간 계층 분해를 단일 비트율 압축에 적절히 적용하여 성능을 개선한다. 실험 결과를 통해 제안하는 방법이 다양한 모델에 대해 효과적임을 확인하였다.

### 5. 참고 문헌

[1] Z. Karni and C. Gotsman, “Compression of soft-body animation sequences,” *Comput. Graph.*, vol. 28, no. 1, pp. 25–34, 2004.

[2] L. Vása and V. Skala, “COBRA: Compression of the basis for PCA represented animations,” *Comput. Graph. Forum*, vol. 28, no. 6, pp. 1529–1540, 2009.

[3] L. Vása and V. Skala, “Geometry-driven local neighbourhood based predictors for dynamic mesh compression,” *Comput. Graph. Forum*, vol. 29, no. 6, pp. 1921–1933, 2010.

[4] J.-K. Ahn, Y. J. Koh, and C.-S. Kim, “Efficient Fine-Granular Scalable Coding of 3D Mesh Sequences,” *IEEE Trans. Multimedia.*, vol. 15, no. 3, pp. 485–497, Apr. 2013.