2004년도 대한전자공학회 하계종합학술대회 논문집 27권 1호

듀얼 그래프를 이용한 삼차원 메쉬 기하학 정보의 변환 부호화 방법

김성열, 윤승욱, 호요성

광주과학기술원 정보통신공학과
전화: 062-970-2263

Spectral Coding of Three-Dimensional Mesh Geometry Information Using the Dual Graph

Sung-Yeol Kim, Seung-Uk Yoon, and Yo-Sung Ho

Gwangju Institute of Science and Technology (GIST)
E-mail : {sykim75, suyoon, hoyo}@gist.ac.kr

Abstract

In this paper, we propose a new scheme for compressing the geometry data of three-dimensional (3-D) mesh models using a dual graph. In order to compress the mesh geometry information, we generate a fixed spectral basis using the dual graph derived from the 3-D mesh topology. After we partition a 3-D mesh model into several independent submeshes to reduce the coding complexity, each mesh geometry is projected onto the generated orthonormal basis for spectral coding. The proposed scheme can not only overcome the difficulty of generating a fixed spectral basis but also reduce the coding complexity. Moreover, we can provide the multi-resolution representation of 3-D meshes.

I. 서론

인터넷의 발전과 삼차원 컨텐츠에 대한 요구가 증가함에 따라, 삼차원 데이터를 빠르게 전송하기 위한 삼차원 데이터의 효율적인 부호화 방법이 필요하다. 삼차원 메쉬 정보는 삼차원 모델의 위상(topology)을 나타내는 연결성 정보(connectivity information)와 삼차원 모델의 꼭지점 좌표를 나타내는 기하학 정보(geometry information)로 이루어져 있다. 따라서, 삼차원 메쉬 부호화 방법은 기하학 정보와 연결성 정보를 효율적으로 압축하는 것에 초점이 맞추어져 있다.

기존의 삼차원 메쉬의 기하학 정보 부호화는 연결성 정보를 부호화한 후에 탐색한 순서에 따라 간단한 선형 예측기를 사용하여 공간적으로 예측 오류를 구하고 이를 엔트로피 부호화하였다[1,2]. 결과적으로 기하학 정보가 연결성 정보의 부호화 방법에 의존하여 부호화되기 때문에, 기하학 정보 자체의 부호화 방법은 최적화되지 않았다. 또한, 실질적으로 삼차원 메쉬 정보에서 기하학 정보가 연결성 정보보다 더 많은 정보량을 가지고 있다는 사실에서 기하학 정보의 압축방법 개발에 보다 관심을 가져야 한다.

본 논문에서는 기존의 선형 예측기를 이용한 공간 부호화 방법과 달리 삼차원 기하학 정보를 주파수 영역으로 변환하고 주파수 영역에서 중요 정보를 부호화하는 방법을 소개한다.

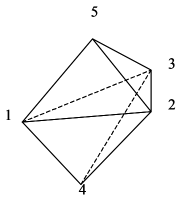
II. 기하학 정보의 변환 부호화

Karni와 Gotsman는 3-D 메쉬 모델의 기하학 정보를 압축하기 위한 변환 부호화 (spectral coding) 방법을 제안하였다[3]. 먼저 n개의 꼭지점으로 이루어진 삼차원 메쉬 모델을 가정하자. 삼차원 메쉬 모델의 위상 정보로부터 인접 행렬 (adjacent matrix) A와 대각 행렬 (diagonal matrix) D를 구한다. 대각 행렬 D의 대각 성

분은 꼭지점의 차수를 나타낸다. 마지막으로 식 1을 이용하여 인접 행렬 A와 대각 행렬 D로부터 라플라시안 행렬(Laplacian matrix) L을 구한다.

$$L = D - A \tag{1}$$

메쉬의 기하학 정보를 변환 부호화 방법으로 압축하기 위해서는 기저(basis)를 구해야 한다. Karni와 Gotsman은 라플라시안 행렬의 고유 벡터(eigen vector)를 기저로 정의하였다. 결과적으로 삼차원 메쉬의 기하학 정보는 라플라시안 행렬로부터 구해진 기저에 투영되고 양자화 과정을 거쳐서 부호화한다. 그림 1은 주어진 메쉬 모델의 기저를 보여준다.



$$\begin{vmatrix} -0.447 & 0.000 & -0.817 & 0.000 & 0.366 \\ -0.447 & 0.000 & 0.408 & -0.707 & 0.366 \\ -0.447 & 0.000 & 0.408 & 0.707 & 0.366 \\ -0.447 & 0.707 & 0.000 & 0.000 & -0.548 \\ -0.447 & -0.707 & 0.000 & 0.000 & -0.548 \end{vmatrix}$$

그림 1. 삼차원 메쉬의 기저 생성

기본적으로 삼차원 모델의 변환 부호화 방법은 높은 계산 복잡도를 가진다. 그림 1에서와 같이 꼭지점의 수에 따라 행렬의 크기가 정해지기 때문이다. 또한 꼭지점의 차수가 일정하지 않아 고정기저(fixed basis)를 생성하기가 어렵다.

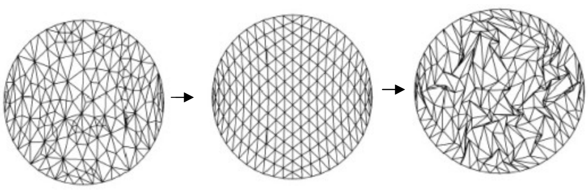


그림 2. 기존 고정기저 생성 방법의 왜곡 현상

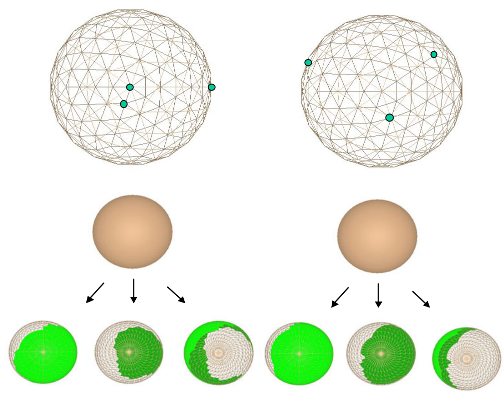
Karni는 고정기저를 구하기 위해 모든 메쉬의 위상을 차수가 6인 기본적인 규칙메쉬(regular mesh)로 가정하여 기저를 생성하였다[4]. 이와 같은 방법은 그림 2에서와 같이 원 메쉬 모델을 규칙 메쉬에 정합되어야 하기 때문에 왜곡 현상이 심하게 나타난다. 따라서, 고정기저 생성방법에 대한 연구가 기하학 정보의 변환 부호화 방법을 위해 선행되어야 한다. 본 논문은 듀얼 그래프를 이용하여 고정 기저를 생성하여 왜곡 문제를 해결한다. 또한, 계산 복잡도를 줄이기 위해 메쉬분할 (mesh partitioning) 방법을 사용한다.

III. 듀얼 그래프를 이용한 변환 부호화

3.1 메쉬분할

메쉬분할이란 주어진 삼차원 메쉬 모델을 여러 개의 독립적인 하위메쉬로 나누는 과정이다. 메쉬를 분할하기 위해서는 분할하고자 하는 개수만큼의 시작 꼭지점을 정해야 한다. 본 논문에서는 시작 꼭지점을 선택하기 위해 K-means 알고리즘을 사용한다.

먼저 분할하려는 개수 n에 따라 임의의 초기 중심값 n개를 시작 꼭지점으로 정의한다. 초기 중심값은 K-means 알고리즘에 따라 반복적으로 n개의 최적화된 새로운 꼭지점으로 수렴된다. 그림 3은 K-means 알고리즘으로부터 시작 꼭지점을 구하고 메쉬분할을 한 결과를 최대 거리(maximum distance) 방법을 이용하여 메쉬분할을 한 결과와 비교하여 보여준다.



(a) (b)

그림 3. 메쉬분할 (a) 최대 거리 방법 (b) K-means

3.2 듀얼 그래프를 이용한 고정기저 생성

듀얼 그래프는 삼차원 메쉬 모델의 위상 정보로부터 구한다. 평면 그래프 G와 기하학적 듀얼 그래프 G*을 가정하자. 듀얼 그래프 G*은 그래프 G의 삼각형 영역에 꼭지점을 추가하고 탐색 순서에 따라 꼭지점을 연결하여 얻을 수 있다.

본 논문에서는 고정기저를 구하기 위해서 듀얼 그래프의 규칙성을 이용한다. 그림 4에서와 보는 것과

같이, 메쉬 모델의 내부에 있는 듀얼 그래프의 꼭지점에서의 차수가 모두 3임을 알 수 있다. 또한, 경계부분인 경우 차수가 1이거나 2가 될 수 있다. 차수가 1인 경우는 삼차원 메쉬의 귀로 정의하고, 귀가 아닌 나머지 경계부분에서는 차수가 2이다. 이와 같은 듀얼 그래프의 규칙성을 이용하여 라플라시안 행렬을 구하고, 라플라시안 행렬로부터 고정 기저를 생성하면, 변환 부호화 후에 생기는 왜곡 현상을 줄일 수 있다.

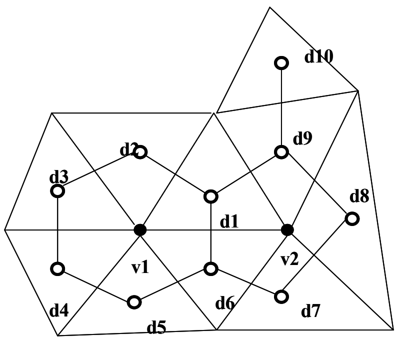


그림 4. 삼차원 메쉬 모델의 듀얼 그래프

본 논문에서는 메쉬 모델의 기하학 정보를 압축하는 것 대신에 초기 꼭지점 2개와 메쉬 모델의 듀얼 그래프 정보를 압축한다. 예를 들어, 그림 4에서와 같이 초기 시작 꼭지점 v1과 v2를 무손실 압축 방법을 통해 부호화하고 d1부터 d10까지의 듀얼 그래프 꼭지점을 구하여 이를 부호화한다. 듀얼 그래프 꼭지점은 삼각형의 무게 중심값으로 결정한다. 듀얼 그래프의 꼭지점을 삼각형의 무게 중심으로 결정하였기 때문에 무게 중심의 특성을 이용하여 메쉬 모델의 기하학 정보를 재생성할 수 있다.

그림 5는 듀얼 그래프로부터 메쉬 모델의 기하학 정보를 재생성하는 과정을 보여준다. 먼저 초기 2개의 꼭지점의 중심 t1을 구하고 d1을 통해서 삼각형의 나머지 한 꼭지점 v3를 구한다. 삼각형 무게 중심 특성에 따라, t1과 d1의 거리의 세배 지점에 나머지 한 꼭지점이 위치한다. 새로 구해진 꼭지점은 다음 삼각형의 나머지 꼭지점을 구하기 위해 다시 이용된다. 결과적으로 이와 같은 반복 과정을 거쳐 원래 메쉬 모델의 기하학 정보를 재생성할 수 있다.

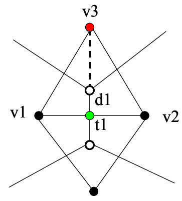


그림 5. 듀얼 그래프로부터 기하학 정보 재생성

3.3 변환 부호화 과정

삼차원 메쉬의 기하학 정보 부호화는 메쉬 모델의 위상으로부터 얻어진 고정기저에 투영시켜 이루어진다. 투영된 정보는 변환 계수(spectral coefficient)로 양자화기(quantizer)와 가변 길이 부호화 (variable length coding) 과정을 거쳐 부호화한다. 먼저, 변환 계수들을 일정한 간격으로 양자화한다. 일반적으로 꼭지점의 한 좌표값에 대해 10비트에서 16비트 정도를 할당하여 양자화한다. 그런 다음, 사용자의 요구 사항에 따라 변환 계수를 잘라서 전송한다.

마지막으로 Huffman 부호화 방법이나 산술 부호화 방법을 이용하여 변환 계수를 엔트로피 부호화를 한다. 이와 같은 변환 부호화 방법은 다중 해상도 표현을 가능하게 하고 삼차원 메쉬 모델의 점진적 전송을 가능하게 한다. 그림 6은 제안한 시스템의 전체 흐름도를 보여준다.

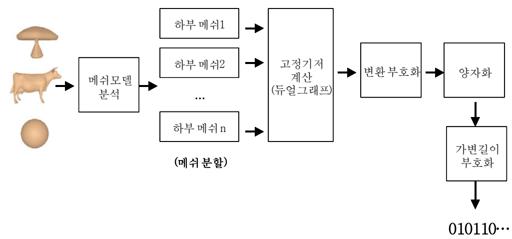
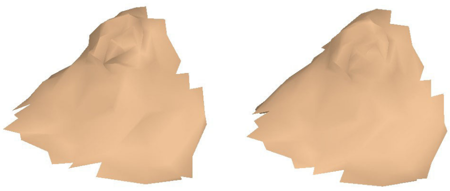


그림 6. 변환 부호화 과정의 전체 시스템 흐름도

IV. 실험 결과

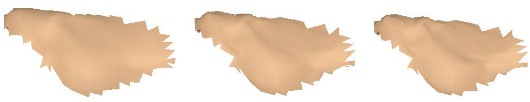
실험 모델은 소 모델을 사용하였다. 소 모델은 2,903개의 꼭지점과 5,804개의 삼각형으로 이루어져 있다. 소 모델을 20개의 하위메쉬들로 분할하였고, 196개의 꼭지점을 갖는 듀얼 그래프를 가정하였다. 부호화 결과후 왜곡 정도를 비교하기 위해 일반적인 삼차원 모델 측정 방법인 Hausdroff 거리를 사용하였다.

그림 7. 소 모델의 19번째 하위메쉬



(a) (b)

그림 8. 실험결과 (a)규칙메쉬 이용 (b) 듀얼 그래프 이용



(a) (b) (c)

그림 9. 소 모델의 4번째 하위메쉬 실험 결과 (a) 원 모델 (b) 규칙메쉬 이용 (c) 듀얼 그래프 이용

그림 8은 그림 7의 하위메쉬를 변환 부호화한 결과를 보여준다. 196개중 150개의 변환 계수만을 이용하여 모델을 재생성하였다. 표 1에서와 같이, 규칙 메쉬를 이용한 경우 Hausdroff 거리가 0.0058이고 듀얼 그래프를 이용한 경우 0.0035이었다. 그림 7에서 보는 것과 같이, 소 모델의 눈 부분의 꼭지점 차수가 불규칙적이다. 따라서, 기존의 방법을 이용하여 고정기저를 생성하면, 원 모델의 불규칙성으로 인해 왜곡이 심하게 발생하였다.

표 1. Hausdroff 거리 비교

구 분	Hausdroff 거리	
	규칙메쉬 이용	제안한 방법
4번째 하위메쉬	0.0104	0.0118
19번째 하위메쉬	0.0058	0.0035

그림 9는 4번째 하위메쉬의 결과를 보여준다. 4번째 하위메쉬는 모든 꼭지점에 대해서 차수가 6이다. 기존의 방법이 꼭지점의 차수가 6인 규칙메쉬로부터 고정기저를 생성하였기 때문에 왜곡이 제안한 방법보다 적게 나타났다. 제안한 방법에 왜곡이 좀 더 나타난 이유는 듀얼 그래프로부터 기하학 정보를 재생성할 때 오류가 기하학 정보에 누적되기 때문이다.

VI. 결론

본 논문에서는 삼차원 메쉬 모델의 기하학 정보에 대한 변환 부호화 방법을 제안한다. 제안한 방법은 삼차원 메쉬 위상으로부터 듀얼 그래프를 구하고 고정기저를 유도한다. 그런 다음, 삼차원 메쉬 모델의 듀얼 그래프 꼭지점 정보를 생성한 고정기저에 투영하여 부호화한다. 제안한 방법은 주파수 영역으로 삼차원 정보를 변환하고 분석하여 부호화하였고, 기존의 변환 부호화 방법의 왜곡 현상을 줄일 수 있었다. 또한 효율적으로 삼차원 메쉬 모델의 다중 해상도 표현을 가능하게 하였다.

감사의 글

본 연구는 광주과학기술원(GIST)과 광주과학기술원 실감방송 연구센터를 통한 대학IT연구센터(ITRC), 그리고 교육부 두뇌한국21(BK21) 정보기술사업단의 지원에 의한 것입니다.

참고 논문

[1] M. Deering, “Geometry compression,” Proceedings of SIGGRAPH, pp. 13-20, 1995.

[2] G. Taubin and J. Rossignac, “Geometric compression through topological surgery,” ACM Transactions on Graphics, vol. 17, pp. 84-115, 1998.

[3] Z. Karni and C. Gotsman, “Spectral compression of mesh geometry,” Proceedings of SIGGRAPH, pp. 279-286, 2000.

[4] Z. Karni and C. Gotsman, “3D mesh compression using fixed spectral basis,” Proceedings of Graphics Interface, pp.1-8, 2001.