### 삼차원 메쉬 모델의 텍스처 좌표 부호화를 위한 텍스처 영상의 재배열 방법

김성열, 호요성 광주과학기술원 정보통신공학과

# Texture Image Rearrangement for Texture Coordinate Coding of Three-dimensional Mesh Models

Sung-Yeol Kim, Yo-Sung Ho
Gwangju Institute of Science and Technology(GIST)
E-mail: {sykim75, hoyo}@gist.ac.kr

#### **Abstract**

Previous works related to texture coordinate coding of the three-dimensional(3-D) mesh models employed the same predictor as the geometry coder. However, discontinuities in the texture coordinates cause unreasonable prediction. Especially, discontinuities become more serious for the 3-D mesh model with a non-atlas texture image. In this paper, we propose a new coding scheme to remove discontinuities in the texture coordinates by reallocating texture segments according to a coding order. Experiment results show that the proposed coding scheme outperforms the MPEG-4 3DMC standard in terms of compression efficiency. The proposed scheme not only overcome the discontinuity problem by regenerating a texture image, but also improve coding efficiency of texture coordinate compression.

#### I. 서론

디지털 정보화 시대를 맞이하여, 대용량의 정보를 초고속 네트워크에 실어 전송하는 기술이 개발되고 있 고 인터넷을 이용하는 사용자가 기하급수적으로 증가하 고 있다. 또한 고품질의 멀티미디어를 요구하는 사용자 들이 늘고 있어, 실감방송이나 삼차원 게임, 삼차원 교

본 연구는 광주과학기술원(GIST) 실감방송연구센터 (RBRC)를 통한 정보통신부대학 IT 연구센터(ITRC)와 교육인적자원부 두뇌한국 21(BK21) 정보기술사업의 지원으로 이루어졌음.

육프로그램과 같이, 삼차원 오디오 비디오 정보를 이용한 다양한 응용 프로그램들이 출현하고 제안되고 있다. 삼차원 정보를 이용한 멀티미디어 응용은 사용자에게 고품질의 영상 서비스를 제공할 수 있을 뿐만 아니라, 이차원 정보가 제공할 수 없는 다양한 상호작용 (interaction)을 제공할 수 있다.

삼차원 메쉬(three-dimensional mesh)는 삼차원 정보를 기하학 정보, 연결성 정보, 광학적 정보로 표현하는 가장 널리 사용되는 삼차원 정보의 표현 방법이다. 지금까지 삼차원 메쉬 모델을 처리하는 다양한 기술들이 개발되었다. 메쉬 변형 기법[1]은 삼차원 메쉬 모델의 표면을 임의의 형태의 삼차원 표면으로 변경하고 메쉬 정제 기법[2]은 서브디비젼(subdivision) 알고리즘을 사용하여 삼차원 표면을 부드럽게 한다. 삼차원 메쉬 단순화 기법[3]을 이용하여 삼차원 장면은 효율적으로 표현하고 삼차원 메쉬 모델을 점진적으로 전송한다. 삼차원 메쉬 부호화 기법[4]은 삼차원 모델을 효과적으로 저장하고 전송하기 위해 삼차원 정보를 효율적으로 압축하는 것이다.

기존의 삼차원 메쉬 부호화 방법은 기하학 정보와 연결성 정보를 부호화하는데 치중되어 있었다. 하지만, 삼차원 메쉬 모델 정보의 60% 이상이 광학적 정보인 것을 감안한다면 광학적 정보 부호화에도 관심을 가

져야 한다. 특히, 삼차원 스캐너와 같은 삼차원 정보획 등 장치로 삼차원 모델을 생성할 때, 대부분의 삼차원 메쉬 모델은 실제와 같은 모델을 만들기 위해서 색상 정보 대신에 텍스처 영상(texture image)과 텍스처 좌표 (texture coordinates) 정보를 포함한다. 따라서 텍스처 좌표 부호화에 대한 효율적인 연구가 필요하다.

일반적으로 텍스처 영상은 JPEG을 이용하여 부호화하고, 텍스처 좌표 정보는 기존의 기하학 정보 부호화 방법과 같은 방법으로 예측 부호화한다. 하지만, 기존의 방법을 사용하여 텍스처 좌표를 부호화하면 텍스처 좌표와 텍스처 영상 사이의 불연속성(discontinuity) 때문에 부호화 효율이 떨어진다. 본 논문에서는 삼차원메쉬 모델의 텍스처 좌표 정보를 부호화하는 새로운 방법을 제안한다.

#### II. 기존의 텍스처 좌표 부호화 방법

#### 2.1 텍스처 영상과 텍스처 좌표

텍스처 영상을 삼차원 모델에 적용하는 것을 텍스처 매핑(texture mapping)이라고 하는데, 텍스처 매핑 과정을 거쳐 삼차원 모델을 표현한다. 텍스처 매핑은 이차원의 텍스처 영상 조각을 텍스처 좌표에 따라 삼차원메쉬 모델의 폴리곤에 위치시켜 이루어진다.

텍스처 영상에는 Atlas 텍스처 영상과 Non-atlas 텍스처 영상이 있다. Atlas 텍스처 영상은 조각난 영상의 차트를 하나의 텍스처 영상으로 모아놓은 것이다. 반면에 Non-atlas 텍스처 영상은 사각형 조각들의 모음으로, 하나의 텍스처 영상으로 매개화(parameterization)된 것이다. 그림 1은 Atlas 텍스처 영상과 Non-atlas 텍스처 영상을 보여준다.





(a) atlas 텍스처 영상 (b) Non-atlas 텍스처 영상 그림 1. 텍스처 영상의 종류

#### 2.2 텍스처 좌표 부호화

Deering[5]와 Taubin[6]는 연결성 정보에 따라 모든 꼭지점을 탐색한 후, 선형 예측기를 사용하여 텍스처 좌표를 부호화 하였다. Touma 와 Gotsman[7]은 꼭지점의 탐색 순서에 따라 연결성 정보를 부호화 하고 평행사변 형법을 이용하여 텍스처 좌표를 부호화 하였다. 예측된 텍스처 좌표의 잉여 에러는 엔트로피 부호화한다. 역시 제안한 평행사변형 예측기 (parallelogram predictor)는 그 대표적인 예이다. Isenburg[8]는 텍스처 좌표의 불연속성에 대한 문제를 제기하였고 선택적인 선형 예측기를 이용하여 텍스처 좌표를 부호화 하였다.

#### 2.3 텍스처 좌표의 불연속성

실제로 삼차원 스캐너와 같은 삼차원 정보획득 장치로 텍스처 좌표를 생성할 때, 매개화 정보가 많은 부분에서 어긋난다 [8]. 결과적으로, 꼭지점 부호화 순서에 따라 텍스처 좌표를 부호화하면 텍스처 좌표가 불연속성적으로 정렬된다. 이렇게 불연속적으로 정렬되는 현상을 텍스처 좌표의 불연속성이라고 한다. 텍스처 좌표의 불연속성 때문에, 기존의 선형 예측기를 이용하여 텍스처 좌표를 부호화하면 부호화 효율이 떨어진다. 그림 2는 텍스처 좌표의 불연속성을 보여준다.

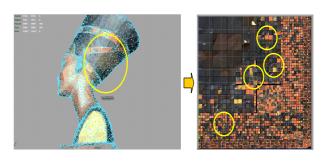


그림 2. 텍스처 좌표의 불연속성

#### III. 텍스처 영상 재배열을 통한 텍스처 좌표 부호화

본 논문에서는 텍스처 영상을 재배열하여 텍스처 좌표를 부호화하는 방법을 제안한다. 제안한 방법은 삼 차원 메쉬 모델 분석과정, 텍스처 좌표 분석과정, 텍스 처 영상 재배열과정, 텍스처 좌표 예측 부호화과정으로 크게 네 가지 단계를 거친다.

#### 3.1 삼차원 메쉬 모델 분석

삼차원 메쉬 모델 분석은 삼차원 메쉬 정보로부터 텍스처 영상과 텍스처 좌표를 분리해 내는 과정이다. 입력 모델의 형식은 VRML이며, VRML 분석기를 통해 텍스처 영상과 텍스처 좌표를 분리한다. 다음은 Nefertiti 모델을 가지고 있는 VRML 파일의 텍스처 영 상과 텍스처 좌표의 일부분을 보여준다.

## texture ImageTexture { url "nefert5\_T5k1.bmp" }

texCoord TextureCoordinate { point [ 0.333008 1.13184, 0.333008 1.11621, 0.348633 1.13184, 0.192383 1.19434, 0.192383 1.20996, 0.176758 1.19434, 0.750977 1.53027,

Nefertiti 모델의 텍스처 영상은 nefert5\_t5k1.bmp 파일로 512x512의 해상도를 갖는 이차원 영상이다. Nefertiti 모델은 10013 개의 텍스처 좌표를 가지고 있는데, 위 예에서 보듯이 텍스처 좌표는 텍스처 영상의 한위치를 나타내기 때문에 (x,y) 좌표 쌍으로 이루어져 있다. 삼차원 메쉬 모델 분석에서는 텍스처 영상을 찾아내고 해당하는 텍스처 좌표를 메모리에 올려놓는다. 또한, 삼차원 메쉬 모델의 기하학 정보와 연결성 정보도삼차원 메쉬 모델 분석에서 추출한다.

#### 3.2 텍스처 좌표 분석

일반적으로 텍스처 좌표는 0과 1 사이로 정규화한다. 정규화된 텍스처 좌표로부터 정확한 텍스처의 위치를 찾아내야 한다. 텍스처의 위치는 텍스처 좌표에 텍스처 영상의 가로와 세로의 크기를 곱하여 식 (1)과 같이 얻어낼 수 있다. 한가지 주의할 점은, 때때로 제공되는 텍스처 좌표가 뒤집어져 있는 경우가 있다.

$$X_{pos} = T_{Width} * X_{norm}, \quad Y_{pos} = T_{Height} * Y_{norm}$$
 (1)

텍스처 좌표 분석은 텍스처 영상과 텍스처 좌표 사이의 불연속성 정보를 탐색한다. 불연속성 정보를 추출하기 위해서 일정한 탐색 순서를 정해야 한다. 본 논문에서는 MPEG 표준인 3DMC(three-dimensional mesh coding)에서 제공하는 알고리즘을 사용한다. 찾아낸 불연속성 정보는 연결리스트 형식으로 메모리에 저장된다.

#### 3.3 텍스처 영상 재배열

텍스처 영상 재배열은 불연속성 정보를 이용하여 텍스처 영상을 연속적으로 재배열하는 것이다. 텍스처 영상은 텍스처 탐색 순서에 따라 Zig-zag 순으로 재배 열한다. 재배열을 하기 전에 생성될 텍스처 영상을 위 해 영상 버퍼를 할당한다. 그리고 불연속성 정보를 포 함하고 있는 연결리스트를 검사하면서 새로운 텍스처 영상을 만든다. 그림 3은 텍스처 영상을 재배열하는 과 정을 보여준다.

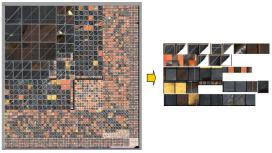
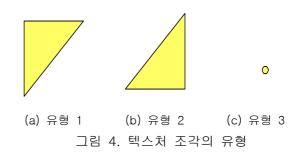


그림 3. 텍스처 영상의 재배열

만약 불연속점이 생기면 플래그(flag)를 두어 표시한다. 불연속점 플래그는 예측 부호화 과정에서 잉여데이터(residual data)를 줄이기 위해 사용하고 수신단에전송된다. 텍스처 영상을 재배열 하기 위해서 텍스처조각을 Non-atlas 텍스처 영상으로부터 뽑아낸다. 텍스처조각은 그림 4와 같이 삼각형이나 점으로 되어 있다.



#### 3.4 텍스처 좌표의 예측 부호화

텍스처 좌표 예측 부호화는 3DMC를 이용하여 텍스처 좌표를 예측 부호화한다. 3DMC에서는 꼭지점 탐색 과정을 거쳐 팽행사변형법을 이용한 예측기를 사용한다. 텍스처 좌표의 부호화 순서로 텍스처 영상을 재배열하여 잉여 데이터의 분산과 엔트로피을 줄인다.

#### IV. 실험 결과

본 논문에서는 텍스처 영상 재배열을 이용한 텍스처 좌표 부호화방법을 실험하기 위해 Coin 모델과 Nefertiti 모델을 사용하였다. Coin 모델과 Nefertiti 모델은 각 2932 개의 꼭지점과 2503 개의 꼭지점을 가지고 있고 512 x 512 크기의 텍스처 영상을 포함한다

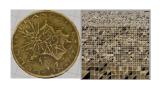




그림 5. 실험 모델

《표 1》과 〈표 2》는 3DMC와 제안한 방법을 비교하여 보여준다. 〈표 1〉에서 보듯이, 제안한 방법이택스처 좌표를 부호화하는 순서에 따라 불연속성을 최소화하였기 때문에, 3DMC보다 성능이 좋았다. 반면에, 제안한 방법은 택스처 영상을 재배열하여 영상 크기가커진 택스처 영상을 JPEG으로 부호화한 택스처 영상의효율은 떨어진다. 하지만 택스처 좌표의 정보가 택스처영상 보다 많기 때문에 결과적으로 전체적인 부호화효율은 약 30% 증가하였다. 그림 6은 실험 모델로부터얻어낸 재배열된 택스처 영상을 보여준다.

표 1 텍스처 좌표 부호화 비교

실험모델	3DMC		제안한 방법	
	잉여분산	텍스처	잉여분산	텍스처
		좌표압축		좌표압축
Coin	25.44	168.4 KB	13.22	106.3 KB
Neffertiti	27.64	287.5 KB	14.27	184.3 KB

표 2 텍스처 영상 부호화 비교

	3DMC		제안한 방법				
실험모델	텍스처	JPEG	텍스처	JPEG			
	영상크기	압축	영상크기	압축			
Coin	512x512	79 KB	512x612	91 KB			
Neffertiti	512x512	96 KB	512x680	112 KB			





그림 6. 재배열한 텍스처 영상

#### V. 결론

본 논문에서는 텍스처 좌표와 텍스처 영상 사이의 불연속성을 제거하여 텍스처 좌표를 부호화하기 위해 텍스처 영상의 재배열 과정을 제안하였다. 텍스처 좌표 부호화에 관련된 기존의 방법들은 텍스처 좌표의 불연 속성을 고려하지 않았다. 특히, Non-atlas 텍스처 영상 인 경우, 부호화 순서에 따라 텍스처 좌표를 부호화하 면 불연속성 문제가 더욱 심각해진다.

제안한 방법은 불연속성 정보를 제거하여 텍츠처 좌표를 예측 부호화하였기 때문에 기존의 방법보다 효 율적으로 텍스처 좌표를 부호화할 수 있었다. 향후에는 기존의 3DMC 를 사용하지 않고 기하학 정보와 연결성 정보를 이용한 텍스처 부호화 방법을 연구할 계획이다.

#### 참고문헌

- [1] M. Desbrum, M. Meyer, P. Alliez, "Intrinsic Parameterizations of Surface Meshes," *Proceedings of EUROGRAPHICS*, pp. 209-218, 2005.
- [2] T. Derose, M. Kass, T. Truong, "Subdivision Surfaces in Character Animation," *Proceedings of SIGGRAPH*, pp. 85-94, 1998.
- [3] M. Garland, P.S. Heckbert, "Surface Simplification using Quadric Error Metrics," *Proceedings of SIGGRAPH*, pp.209-216, 1997.
- [4] J. Rossignac, "Geometry Simplification and Compression," Course Noetes of SIGGRAPH, 1997.
- [5] M. Deering, "Geometry Compression," *Proceedings of SIGGRAPH*, pp. 13-20, 1995.
- [6] G. Taubin, J. Rossignac, "Geometric Compression through Topological Surgery," ACM Transactions on Graphics, vol. 17-2, pp. 84–115, 1998.
- [7] C. Touma, C. Gotsman, "Triangle Mesh Compression," *Proceedings of Graphics Interface*, pp. 26–34, 1998.
- [8] M. Isenburg, J. Snoeyink, "Compressing Texture Coordinates with Selective Linear Predictions," *Proceedings of Graphics Interface*, pp. 126-131, 2003.