

# 계층적 분할 구조를 이용한 시각 의존 점진적 메쉬 전송

김 성 열, 안 정 환, 호 요 성  
광주과학기술원 정보통신공학과  
광주광역시 북구 오룡동 1번지

## View-Dependent Progressive Mesh Transfer Using Hierarchical Partitioning

Sung-Yeol Kim, Jeong-Hwan Ahn and Yo-Sung Ho  
Kwangju Institute of Science and Technology (K-JIST)  
E-mail : {sykim75, jhahn, hoyo}@kjist.ac.kr

### Abstract

In this paper, we propose a new scheme for progressive transmission of 3-D mesh information according to human viewing. A view-dependent nonuniform mesh information can be transmitted through a network by setting higher priority to visible parts. Once we represent the 3-D model in a hierarchical structure, we can adaptively determine the resolution of each partitioned mesh depending on the viewing point. The view-dependent progressive mesh is constructed by merging and splitting of partitioned meshes.

### I. 서론

최근 삼차원 메쉬 모델을 이용한 멀티미디어 응용이 증가함에 따라, 네트워크를 통한 효율적인 메쉬 모델 전송의 중요성이 커지고 있다. 기본적으로 삼차원 메쉬 모델을 저장하거나 전송할 때 많은 데이터 양을 요구하기 때문에 메쉬 모델 전송에 어려움이 많다. 이때, 관찰자가 보는 방향에 따라 점진적으로 메쉬를 전송할 수 있는데, 이는 보이는 부분에 높은 해상도를 부여하여 제한된 전송대역 안에서 최적화된 품질을 나타 내리는 것이다.

본 논문에서는 계층적 메쉬 분할을 통해서 효과적인 점진적 메쉬 전송 방법을 제안하였고, 정적 시각 메쉬 전송 방법과 동적 시각 메쉬 방법을 고찰하였다

### II. 계층적 메쉬 분할

#### 2.1 메쉬 분할

메쉬 분할이란 주어진 삼차원 메쉬 모델을 여러 개의 독립적인 부분으로 나누는 과정이다. 메쉬를 분할하여 전송하면 일부분의 오류가 모델 전체에 영향을 미치지 않으므로 모델의 전송이나 저장에 유용하다.

메쉬를 분할하기 위해서는 우선 분할하고자 하는 개수만큼의 시작 꼭지점을 정해야 한다. 본 논문에서는 이상적인 시작 꼭지점을 선택하기 위해서 K-means 알고리즘을 사용하였다. 먼저 분할 개수 K에 맞는 초기 클러스터의 중심값  $\{Z_1(0), Z_2(0), \dots, Z_K(0)\}$ 을 정의한다. 중심값은 메쉬 모델에서 임의로 K개의 꼭지점을 선택하여 정의할 수 있다. 이후 메쉬 모델의 꼭지점들은 식 (1)에서 정의된 관계에 따라 K개의 클러스터로 분할된다.

$$x \in S_i(k) \text{ if } |x - Z_i(k)| < |x - Z_j(k)| \quad (1)$$

여기서  $i=1, 2, \dots, K, i \neq j$ 이고  $S_i(k)$ 은 클러스터 중심값이  $Z_i(k)$ 인 집합이다. 만약 모든 j에 대해서  $S_i(k)$ 와 다음 단계인  $S_i(k+1)$ 이 같으면 클러스터 분할을 중단하고,  $Z_1(k), Z_2(k), \dots, Z_K(k)$ 에 가장 가까운 꼭지점 K개를 선택하여 시작 꼭지점으로 한다. 메쉬를 분할하기 위해서 각 시작 꼭지점으로부터 주변

의 폴리곤에 위치한 꼭지점을 시계 방향과 반시계 방향으로 탐색하여 메쉬를 분할한다. 양방향 탐색을 하는 이유는 분할의 경계가 불규칙하게 되는 것을 방지한다. 탐색된 꼭지점은 다음 단계를 위해서 스택에 임시로 저장된다.

그림 1은 메쉬 모델을 두 개의 분할 부분으로 나누는 과정을 보여준다.

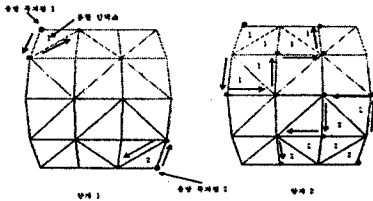


그림 1. 메쉬 분할 방법

## 2.2 계층적 구조

계층적 메쉬 분할 구조는 현재 만들어진 분할 메쉬에 대해 재분할 과정을 거쳐 완성된다. 재분할 과정은 위에 기술한 분할 방법과 같은 탐색 방법을 사용한다.

계층적 구조의 크기를 정하기 위해 최하위 레벨의 분할 크기를 정해야 한다. 이는 전송 채널 상의 목표 BER (Bit Error Rate)를 통해서 결정될 수 있다. 보통 분할 크기는 2의 거듭 제곱으로 결정되는데, Z. Yan은 목표 BER이  $10^{-3}$ 인 경우의 최소 분할 크기를 꼭지점의 개수 32로 정하였다[1].

그림 2는 버섯 모델의 계층적 메쉬 분할 구조를 보여준다. 이때의 최소 분할 크기는 32이다.

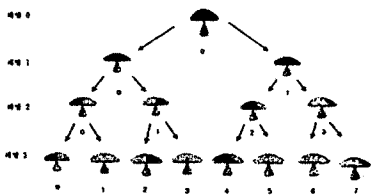


그림 2. 계층적 메쉬 분할 구조

## III. 시각 의존 점진적 메쉬 전송

### 3.1 점진적 메쉬

#### (1) 에지 축소와 에지 분리

그림 3은 에지 축소와 에지 분리의 기본적인 형태를 보여준다[2]. 에지 축소 과정은 메쉬 단순화 과정으로

에지 (VT, VS)가 꼭지점 VS'로 통합된다. 이때, 꼭지점 VT와 꼭지점 VS를 연결정보로 가지는 폴리곤 (VR, VT, VS)과 폴리곤 (VT, VL, VS)은 없어진다.

에지 분리는 메쉬 청제화 과정으로 에지 축소의 역과정이다. 꼭지점 VS'가 에지 (VT, VS)로 분리되어 새로운 폴리곤 (VR, VT, VS)와 폴리곤 (VT, VL, VS)가 생겨난다.

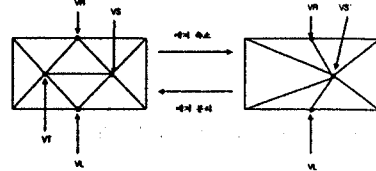


그림 3. 에지 축소와 에지 분리

#### (2) 분할 메쉬에 대한 다중 계층 구성

그림 4는 분할 메쉬에 대한 전체적인 다중 계층 구성을 보여준다. 각 최하위 레벨 분할 메쉬는 1개의 기본 계층과 n개의 다중 계층을 갖는다.

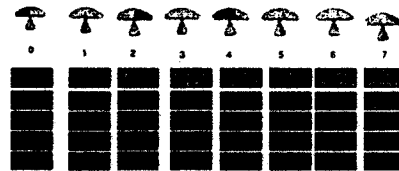


그림 4. 분할 메쉬 다중 계층 구성

최하위 레벨 분할 메쉬의 i번째 분할 메쉬에 대해 초기 모델을  $M_i$ 라 하면 식 (2)와 같이  $M_i$ 은 k번의 반복적인 에지 축소 과정으로 기본 모델  $M_i^0$ 로 단순화된다. k번의 에지 축소 정보는 다중 계층 구성 정보로 이용된다.

$$(M_i^k = M_i) \xrightarrow{cont_i^{k-1}} M_i^{k-1} \dots \xrightarrow{vsplit_i^0} M_i^0 \quad (2)$$

또한 식 (3)과 같이 i번째 분할 메쉬에 대한 k번의 반복적인 에지 분리과정으로 기본 모델  $M_i^0$ 로부터 초기모델  $M_i$ 로 복원된다.

$$M_i^0 \xrightarrow{vsplit_i^0} M_i^1 \dots \xrightarrow{vsplit_i^{k-1}} (M_i^k = M_i) \quad (3)$$

### 3.2 시각 의존적 전송

#### (1) 분할 메쉬 전송 해상도 결정

분할 메쉬 전송 해상도를 정하기 위해 각 꼭지점의 가시화 여부를 판단해야 한다. 식 (4)에서 보듯이 관찰

자의 시각 위치 벡터  $\vec{V}$ 와 꼭지점 법선 벡터  $\vec{N}$ 과의 사이각  $\theta$ 를 계산한다. 만약  $\theta$ 가 90도 보다 크면 꼭지점은 보이지 않고, 90도 보다 작으면 보이게 된다.

$$\theta = \cos^{-1}((\vec{V} \cdot \vec{N}) / (|\vec{V}| |\vec{N}|)) \quad (4)$$

식 4)를 이용하여 각 분할 매쉬의 가시화 여부와 해상도를 결정하기 위해 분할된 매쉬에 존재하는 모든 꼭지점의 법선 벡터를 구한다. 구해진 법선 벡터들과 시각 위치 벡터의 사이각 중 가장 작은 값을 선택한다.

$$\theta_A = \min[\cos^{-1}((\vec{V} \cdot \vec{n}_j) / (|\vec{V}| |\vec{n}_j|))] \quad (5)$$

여기서  $j = 0, 1, \dots, N$ 이고,  $N$ 은 분할 매쉬  $A$ 의 총 꼭지점 개수이다.  $\vec{n}_j$ 은 꼭지점  $j$ 에 해당하는 법선 벡터를 나타내며,  $\theta_A$ 은 분할 매쉬  $A$ 의 사이각이다. 이때, 분할 매쉬  $A$ 의 해상도  $R_A$ 는 식 (6)과 같다.

$$R_A = r_{\max} \cdot \cos(\theta_A) \quad (6)$$

여기서  $r_{\max}$ 는 각 분할 매쉬의 에지 축소 과정에서 생기는 분리 정보의 개수이다.

그림 5는 분할 매쉬의 해상도 결정 방법을 도시화한 것이다.

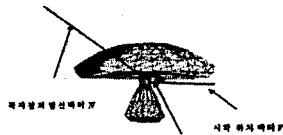


그림 5 해상도 결정

(2) 분할 매쉬 병합 및 분리

분할 매쉬 병합은 각 분할 매쉬의 전송 해상도를 이용하여 가시화 여부에 따라 분할 매쉬와 다른 분할 매쉬를 병합하는 것이다. 분할 매쉬 병합에는 가시 매쉬 병합과 비가시 매쉬 병합이 있다. 가시 매쉬 병합은 가시화되는 매쉬들을 병합하는 것이고, 비가시 매쉬 병합은 가시화되지 않는 매쉬들을 병합하는 것이다. 이때, 병합된 매쉬의 해상도는 병합되기 전의 분할 매쉬의 해상도를 유지한다.

분할 매쉬 병합은 먼저 각 분할 매쉬의 기본 계층  $M^0$ 끼리 이루어진다. 이 과정에서 공통 경계 정보가 결합되게 된다. 각 분할 매쉬에 대해 경계 정보는 중첩되어 전송하게 되는데, 분할 매쉬 병합과정을 통해

서 이러한 중첩 정보가 사라져 전송량을 줄일 수 있다.

분할 매쉬 분리는 분할 매쉬 병합의 역과정으로 관찰자가 초기 화면의 시각 위치에서 다른 시각 위치로 이동했을 때 동작한다.

그림 6은 분할 매쉬 병합과 분리 과정을 보여준다.

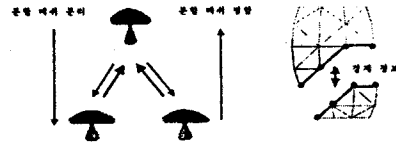


그림 6. 에지 축소와 에지 분리

(3) 정적 시각 매쉬

정적 매쉬 전송은 관찰자의 시각 위치가 변하지 않을 때의 전송 방법으로 분할 매쉬 병합 과정으로 이루어진다.

그림 7은 정적 매쉬 전송 과정을 보여준다. 최하위 레벨 분할 매쉬 1, 4, 5, 6, 7은 가시화되는 분할 매쉬이고, 나머지 분할 매쉬 0, 2, 3은 가시화되지 않는 분할 매쉬이다. 이때, 분할 매쉬 4, 5, 6, 7은 가시 매쉬 병합 과정이 수행되고, 분할 매쉬 2와 3은 비가시 매쉬 병합 과정이 수행된다. 따라서 레벨 3의 1과 레벨 1의 1은 해당 해상도로 전송되고, 레벨 3의 0과 레벨 2의 1은 기본계층만 전송된다.

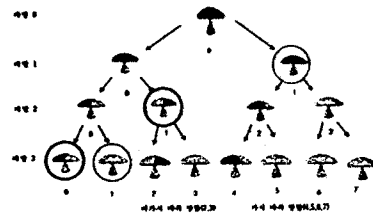


그림 7. 정적 시각 매쉬

(3) 동적 시각 매쉬

동적 시각 매쉬는 관찰자의 시각 위치가 계속적으로 변할 때의 방법으로 분할 매쉬 분리 과정으로 이루어진다. 우선 정적 시각 매쉬 전송 방법으로 초기화면 매쉬를 전송한다. 만약 관찰자 시각 위치가 수정되면 수정된 시각 위치 정보가 서버로 전송된다. 서버는 현재까지 전송한 정보를 유지하고 있어서 수정된 시각 위치 정보를 통해 전송되어야 할 전송량을 자동적으로 결정하게 된다.

그림 8은 관찰자 시각 위치가 정면에서 위로 수정되었을 때의 동적 시각 매쉬 과정을 보여준다. 레벨 1

의 1이 각 레벨 2의 3과 레벨 3의 4, 5로 분리되었고, 레벨 2의 1은 레벨 3의 2와 3으로 분리되었다. 따라서 레벨 3의 1과 2는 초기화면 매쉬에 기본계층만 전송하였기 때문에 해당 해상도로 전송하고, 레벨 3의 4와 레벨 2의 3은 이전에 전송된 양을 고려하여 추가적으로 전송한다.

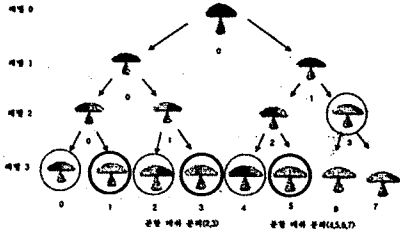


그림 8. 동적 시각 매쉬

#### IV. 실험 및 결과

본 논문에서는 계층적 분할 구조를 이용한 시각 의존 점진적 방법을 사용하여 정적 시각 매쉬와 동적 시각 매쉬를 실험하였다. 실험 모델로 버섯 모델과 Cow 모델을 사용하였다. 버섯 모델과 Cow 모델의 최하위 레벨은 각각 3과 5이다.

그림 9은 Cow 모델의 옆방향을 기본 시각 위치로 놓고 실험한 결과이고, 표 1은 이때의 전송된 꼭지점의 수와 폴리곤의 수를 보여준다. 전송된 꼭지점과 폴리곤의 수가 Yang[3]의 방법보다 4~10% 감소되었다.

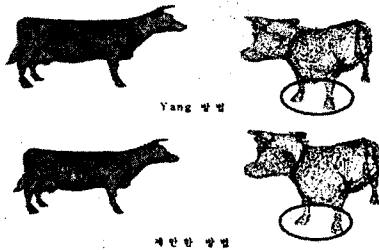


그림 9. 정적 시각 매쉬 결과

표 1. Cow 모델과 버섯 모델의 전송량 비교

모델	원 모델		Yang 방법		제안된 방법	
	F	V	F	V	F	V
Cow	5804	2904	4960	2429	4362	2189
버섯	488	226	391	198	372	172

그림 10은 그림 9의 Cow 모델을 회전 시킨 후의 결과를 보여준다. 분할 매쉬 분리과정으로 새로 보이는 분할 매쉬에 추가 정보가 전달되었다.

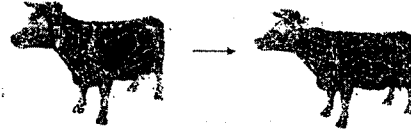


그림 10. 동적 시각 매쉬 결과

#### V. 결론

본 논문에서는 효과적으로 삼차원 매쉬 모델을 전송하기 위해서 매쉬 모델을 계층적인 분할 구조로 표현하였다. 그리고 이 구조를 이용하여 관찰자가 보는 방향에 따라 점진적으로 매쉬를 전송하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법에서는 삼차원 매쉬 모델의 보이는 부분에 높은 우선권을 주어 전송하였고, 분할 매쉬 병합 방법과 분리 방법을 사용하여 삼차원 매쉬 전송을 효과적으로 할 수 있었다. 이 방법은 삼차원 애니메이션 전송으로 확장될 수 있으며, 여러 삼차원 전송 응용분야에 적용될 수 있다.

#### 감사의 글

본 연구는 광주과학기술원(K-JIST) 초고속망네트워킹연구센터(UFON)를 통한 한국과학재단 우수연구센터(ERC)와 교육부 두뇌한국21(BK21) 정보기술사업단의 지원에 의한 것입니다.

#### 참고 문헌

- [1] Z. Yan, S. Kumar and C-C. J. Kuo, "Error-resilient Coding of 3-D Graphic Models via Adaptive Mesh Segmentation," IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology. Vol. 11. No 7, July 2001.
- [2] H. Hoppe, "Progressive Meshes," SIGGRAPH, pp.99-108, Aug. 1996.
- [3] S. Yang, C.S. Kim and C-C. J. Kuo, "View-Dependent Progressive Mesh Coding Based on Partitioning," Proc. SPIE VCIP-2002, Jan. 2002.
- [4] J.C. Xia and A. Varshney, "Dynamic View-dependent Simplification for Polygonal Models," Proc. Visualization 96, pp.327-334, 1996.