

계층적 분할을 이용한 삼차원 다각형 메쉬 모델의 표현 및 인간 시점에 따른 점진적 전송 방법

(Representation of Three-dimensional Polygonal Mesh Models Using Hierarchical Partitioning and View-dependent Progressive Transmission)

金成烈*, 扈堯盛*

(Sung-Yeol Kim and Yo-Sung Ho)

요약

본 논문에서는 삼차원 모델을 효율적으로 전송하기 위해, 삼차원 메쉬 모델을 계층적으로 표현하고 보는 사람의 시점에 따라 메쉬 모델의 해상도를 다르게 하여 전송하는 방법을 제안한다. 제안한 방법은 점진적 메쉬 전송과 순차적 메쉬 전송이 결합된 형태로 보는 사람의 현재 시점을 고려하여 삼차원 모델을 전송하는 것이다. 보는 사람의 시각 위치에 따라 전송할 때, 보이지 않는 부분보다 보이는 부분을 먼저 전송하여 제한된 전송대역 안에서 삼차원 모델의 품질을 최적화할 수 있다. 먼저 주어진 삼차원 메쉬 모델을 계층적으로 메쉬분할하고 최하위 레벨의 분할메쉬에 대해 다중계층을 구성한다. 메쉬분할을 위한 시작꼭지점은 K-means 알고리즘을 사용하여 선택하기 때문에, 메쉬분할 과정에서 균등한 분할메쉬를 얻을 수 있다. 보는 사람의 시점에 따라 최하위 레벨의 각 분할메쉬에 대해서 해상도를 계산한 후, 병합과 분리과정을 통해 삼차원 메쉬 모델을 전송한다. 분할메쉬 병합과정은 삼차원 메쉬의 정적시각 전송에 이용되고, 메쉬분할로 생기는 공통 경계 정보를 줄일 수 있다. 분할메쉬 분리과정은 삼차원 메쉬의 동적시각 전송에 이용되고, 보는 사람의 시점에 따라 새롭게 보이는 분할메쉬에 대해 추가적인 정보를 유동적으로 전송한다.

Abstract

In this paper, we propose a new scheme for view-dependent transmission of three-dimensional (3-D) polygonal mesh models with hierarchical partitioning. In order to make a view-dependent representation of 3-D mesh models, we combine sequential and progressive mesh transmission techniques. By setting higher priorities to visible parts than invisible parts, we can obtain good quality of 3-D models in a limited transmission bandwidth. In this paper, we use a multi-layer representation of 3-D mesh models based on hierarchical partitioning. After representing the 3-D mesh model in a hierarchical tree, we determine resolutions of partitioned submeshes in the last level. Then, we send 3-D model data by view-dependent selection using mesh merging and mesh splitting operations. By the partitioned mesh merging operation, we can reduce the joint boundary information coded redundantly in the partitioned submeshes. We may transmit additional mesh information adaptively through the mesh splitting operation.

Keyword : 계층적 메쉬분할, 분할메쉬 병합, 분할메쉬 분리, 인간 시점에 따른 전송

* 正會員, 光州科學技術院 情報通信工學科

(Dept. of Information and Communications, Kwangju Institute of Science and Technology)

接受日字:2003年2月2日, 수정완료일:2003年11月22日

I. 서론

최근 고화질 영상 서비스에 대한 요구가 증가함에 따라 삼차원 메쉬 모델들을 이용한 멀티미디어 응용이 확산되고 있다. 또한 네트워크 기술도 발전하여 삼차원

메쉬 모델을 표현하고 전송하는 방법들이 많이 연구되고 있다. 그러나 근본적으로 삼차원 메쉬 모델을 저장하고 표현하는데 엄청난 데이터량이 사용되기 때문에 주어진 전송 대역 안에서 삼차원 메쉬 모델 전송하는 것은 여간 어려운 일이 아니다.

본 논문에서는 관찰자의 시각 위치를 고려한 새로운 삼차원 메쉬 모델의 효과적인 표현 방법과 전송 방법을 제안한다. 삼차원 메쉬 모델을 전송할 때, 보이는 부분을 보이지 않는 부분보다 먼저 전송하여 제안된 전송대역 안에서 최적화된 품질을 제공한다. 그리고 보이는 부분과 보이지 않는 부분을 분리하여 전송함으로써 삼차원 메쉬 모델을 이용한 웹 기반 응용(web-based application)의 초기 전송 시간을 줄인다.

삼차원 메쉬 모델을 전송하는 방법은 크게 점진적 메쉬전송과 순차적 메쉬전송으로 나뉘어진다. 점진적 메쉬전송은 전체 메쉬 정보를 다중 해상도로 표현하고 전송하려는 해상도에 따라 전송 데이터량을 결정하여 전송하는 것이다. 이에 비해, 순차적 메쉬전송은 메쉬분할(mesh partitioning)을 이용하여 메쉬 모델을 여러 개의 독립적인 조각으로 나누어 전송하는 것이다. 이와 같은 순차적 메쉬전송은 전체 모델의 정보 대신에 독립적인 여러 정보를 전송하기 때문에 수신측의 전송오류에 보다 강인하다. 본 논문에서는 점진적 메쉬전송과 순차적 메쉬전송을 결합한 형태를 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 삼차원 메쉬 모델을 전송 방법에 대해 살펴본다. III장에서는 주어진 삼차원 메쉬 모델을 계층적 분할 구조로 표현하고, 인간 시점에 따른 삼차원 메쉬 모델의 점진적 전송 방법을 제안한다. IV장에서는 모의 실험 결과를 제시하고, V장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 삼차원 메쉬 모델의 전송 방법

1. 점진적 메쉬전송

Hoppe는 1996년에 점진적 메쉬(progressive mesh)를 제안하였다^[1]. 점진적 메쉬는 임의의 삼각형 메쉬 모델들을 저장하고 전송하기 위해서 삼차원 메쉬 모델을 연속적인 해상도로 표현한다. 점진적 메쉬는 다중 해상도, 점진적 전송, 삼차원 메쉬 모델 압축에서 이용된다.

점진적 메쉬에는 크게 두 가지 연산과정이 있다. 하나는 에지 축소 연산을 이용하여 삼차원 메쉬 모델을 단순화하는 과정이고, 다른 하나는 에지 축소 연산의

역과정인 꼭지점 분리 연산이다. 꼭지점 분리 연산을 통해서 단순화된 메쉬 모델을 정제화한다. 점진적 메쉬는 주어진 삼차원 메쉬 모델을 에지 축소 연산으로 얻은 기본 모델과 꼭지점 분리 연산 과정으로 표현한다. <그림 1>은 삼차원 메쉬 모델이 전체적으로 정제화되는 점진적 메쉬전송 과정을 보여준다.



그림 1. 점진적 메쉬전송
Fig. 1. Progressive mesh transmission.

2. 순차적 메쉬전송

순차적 메쉬(sequential mesh)는 삼차원 메쉬 모델을 메쉬분할 기술을 이용하여 다수의 독립적인 조각들로 표현한다. 메쉬분할은 주어진 삼차원 메쉬 모델을 다수의 독립적인 분할메쉬(partitioned mesh)로 나누는 과정이다. 만약 삼차원 메쉬 모델을 다수의 분할메쉬로 나누어 전송하면, 수신단에서의 전송 오류가 전체 모델에 영향을 주지 않기 때문에 전송 오류에 보다 강인하다.

메쉬분할 기술 중 하나로 다중 씨드 꼭지점 탐색 방법(multi-seed vertex traversal technique)이 있다^[2]. 이 기술은 시작꼭지점들로부터 이웃꼭지점들을 탐색하고 탐색된 꼭지점 정보를 이용하여 주어진 삼차원 메쉬 모델을 분할한다. 이렇게 얻어진 각 분할메쉬는 독립적으로 부호화하게 된다. 이때, 분할메쉬의 공통 경계 정보(joint boundary information)는 중첩되게 부호화된다. <그림 2>는 다수의 분할메쉬들이 전송되어 하나의 삼차원 메쉬 모델을 만드는 순차적 메쉬 전송의 예를 보여준다



그림 2. 순차적 메쉬전송
Fig. 2. Sequential mesh transmission.

III. 삼차원 메쉬 모델의 시각 의존 표현

본 논문에서 제안한 시스템은 크게 세부분으로 구성된다. 첫 번째는 삼차원 메쉬 모델을 계층적으로 메쉬

분할하고 이 구조 위에 다중 계층을 표현하는 것이다. 두번째는 각 분할메쉬에 대한 해상도 결정 부분이며, 세번째는 관찰자의 시점에 따라 전송을 하는 분할메쉬 병합 및 분리 과정이다. <그림 3>은 제안한 시스템의 전체적인 구조를 보여준다.

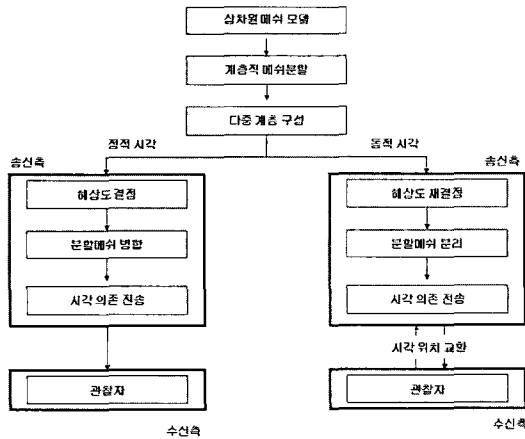


그림 3. 제안한 시스템 구조
Fig. 3. Proposed system structure.

본 논문에서 제안한 시스템을 설명하기 위해 다음과 같은 용어를 정의한다.

- 1) 경계 꼭지점: 분할메쉬 경계에 위치한 꼭지점
- 2) 내부 꼭지점: 경계 꼭지점이 아닌 꼭지점
- 3) 시작꼭지점: 메쉬분할을 시작하는 시작꼭지점
- 4) 부모 분할메쉬: 독립적인 분할메쉬들로 나누어지는 상위 레벨의 분할메쉬
- 5) 자식 분할메쉬: 부모 분할메쉬로부터 얻어진 분할메쉬

1. 계층적 메쉬분할

본 논문에서는 관찰자의 시점에 따라 전송하기에 유리한 새로운 삼차원 메쉬 표현 방법인 계층적 메쉬분할(hierarchical mesh partitioning) 방법을 제안한다. 계층적 메쉬분할은 이전에 분할한 분할메쉬들을 연속적으로 재분할하는 과정이다. 계층적 메쉬분할은 초기 분할메쉬 개수와 계층적 분할메쉬 구조의 총 레벨 수에 따라 수행된다.

계층적 메쉬분할에 앞서 우리는 초기 분할메쉬의 총 개수만큼의 시작꼭지점을 선택한다. 선택된 시작꼭지점으로부터 다중 씨드 꼭지점 탐색 방법을 사용하여 메쉬를 분할한다. 메쉬분할은 정해놓은 레벨 수까지 계속 진행된다. 즉, 부모 분할메쉬들은 정해진 초기 분할메쉬

의 개수만큼 자식 분할메쉬를 나누어진다. 만약 현재 진행된 계층적 메쉬분할의 레벨수가 정해놓은 레벨 수보다 작으면 자식 분할메쉬는 초기 분할메쉬 개수만큼 재분할된다. <그림 4>는 초기 분할메쉬 개수가 2이고 정해진 레벨 수가 3일 때의 계층적 메쉬분할 구조를 보여준다

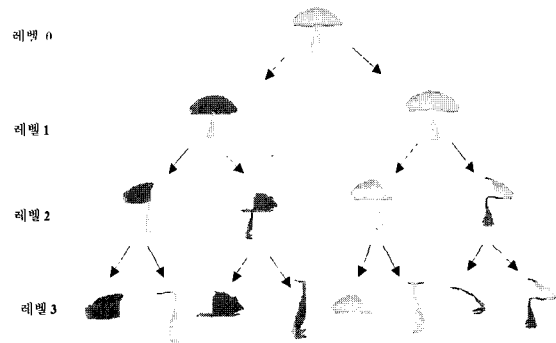


그림 4. 계층적 메쉬분할 구조
Fig. 4. Hierarchical mesh partitioning structure.

1.1 시작꼭지점 선택

메쉬분할을 시작하기 전에 분할메쉬 개수만큼 시작 꼭지점을 선택해야 한다. 시작꼭지점에 따라 분할메쉬의 형태가 결정되기 때문에 시작꼭지점을 선택하는 것은 중요한 사항이다. 제안한 시스템에서는 시작꼭지점을 선택하기 위해 K-means 알고리즘^[3]을 사용한다. 먼저 초기 분할메쉬 개수 K를 정한다. K는 한 부모 분할메쉬로부터 얻어지는 자식 분할메쉬의 총 개수이다. 본 논문에서는 K-means 알고리즘을 사용하여 초기 분할메쉬 개수 K만큼의 시작꼭지점을 선택한다. 시작꼭지점은 다음과 같은 단계를 걸쳐 결정된다.

- 1) 부모 분할메쉬에서 임의의 중앙 꼭지점 K개를 선택하고 이를 $Z_1(1), Z_2(1), \dots, Z_K(1)$ 로 표시한다.
- 2) 다음 관계를 이용하여 입력 데이터를 K개의 도메인으로 분배한다.

$$x \in S_j(k) \text{ if } \|x - z_j(k)\| < \|x - z_i(k)\| \quad (1)$$

이때, 모든 $i = 1, 2, \dots, K, i \neq j$ 에 대해서 수행된다. 그리고 $S_j(k)$ 는 중앙 꼭지점이 $z_j(k)$ 인 꼭지점들의 집합이다.

- 3) 단계 2로부터 다시 새로운 중앙 꼭지점 $z_j(k+1)$ 을 재계산한다. 이 때 새로운 중앙 꼭지점은 한 도메인

에 속해 있는 모든 꼭지점 $S_j(k)$ 에 대해 최소 거리에 있는 꼭지점이다.

즉 다음과 같은 관계를 이용하여 중앙 꼭지점을 선택한다.

$$J_j = \sum_{x \in S_j(k)} \|x - x_j(k+1)\|^2, \quad j=1,2,\dots,K \quad (2)$$

4) 만약에 $z_j(k+1)$ 와 $z_j(k)$ 가 같으면 K-means 알고리즘을 멈추고 $z_j(k)$ 를 시작꼭지점으로 정한다. 그렇지 않을 경우 단계 2로 돌아간다.

<그림 5>는 Yang^[4]이 제안한 Maximum Distance 알고리즘을 사용해서 얻은 시작꼭지점의 위치와 제안한 방법인 K-means 알고리즘을 통해 얻은 시작꼭지점의 위치를 비교한 것이다. K-means 알고리즘을 통해 얻은 시작꼭지점의 위치가 보다 균등하게 분포한다.

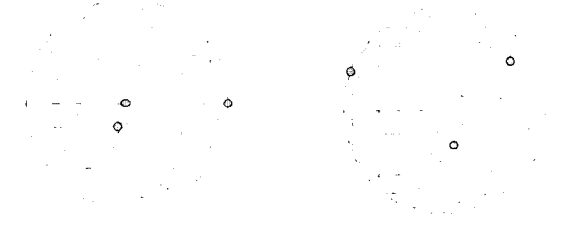


그림 5. 시작꼭지점의 선택(왼쪽: Maximum Distance, 오른쪽: K-means)
Fig. 5. Initial vertices selection(Left: Maximum Distance, Right: K-mean)

<그림 6>은 <그림 5>와 같이 위치한 시작꼭지점으로부터 메쉬분할을 한 결과를 보여준다. K-means 알고리즘을 통해 얻은 시작꼭지점으로부터의 메쉬분할하여 얻은 분할메쉬가 보다 균등함을 볼 수 있다.

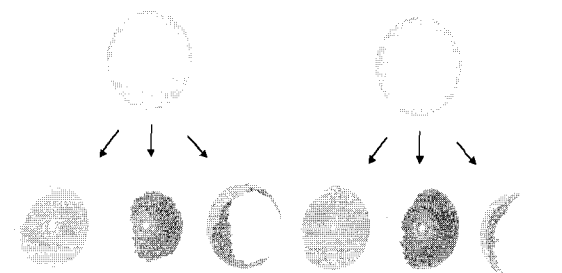


그림 6. 메쉬분할(왼쪽: Maximum Distance 오른쪽: K-means)
Fig. 6. Mesh partitioning(Left: Maximum Distance, Right: K-means).

2. 다중 계층 구성

주어진 삼차원 메쉬 모델을 계층적 메쉬분할 방법으로 나타낸 다음, 최하위 레벨의 분할메쉬들에 대해 점진적 메쉬로 표현한다. 각 최하위 레벨의 분할메쉬들은 기본 계층(base layer)과 확장 계층(enhancement layer)으로 표현된다. 기본 계층은 분할메쉬를 전송할 때 관찰자의 시각 위치에 관계없이 전송되는 최소한의 데이터량이고, 확장 계층은 관찰자의 시각 위치 따라 결정되는 해상도만큼 추가적으로 전송되는 데이터량이다. 기본 계층의 형태는 Yang^[4]이 제안한 형태를 사용한다.

계층적 메쉬분할 구조에서 최하위 레벨의 i 번째 분할 메쉬를 \widehat{M}_i 라고 정의할 때, \widehat{M}_i 의 기본 계층은 M_i^0 로 나타낸다. M_i^0 은 \widehat{M}_i 으로부터 k 번의 반복적인 에지 축소 연산을 통해 얻어진다. 그리고 k 번의 에지 축소 연산 정보는 확장 계층에 사용된다. 식 (3)은 i 번째 분할 메쉬의 기본 계층 형성 과정을 보여준다.

$$(\widehat{M}_i = M_i^k) \overline{ecol}_i^{k-1} \dots \overline{ecol}_i^1 M_i^1 \overline{ecol}_i^0 M_i^0 \quad (3)$$

식 (4)는 i 번째 분할메쉬의 기본 계층으로부터 원래의 분할메쉬로 재구성되는 과정을 보여준다. 원래의 분할메쉬는 k 번의 꼭지점 분리 과정을 통해 얻어진다.

$$M_i^0 \overline{vsplit}_i^0 M_i^1 \overline{vsplit}_i^1 \dots \overline{vsplit}_i^{k-1} (\widehat{M}_i = M_i^k) \quad (4)$$

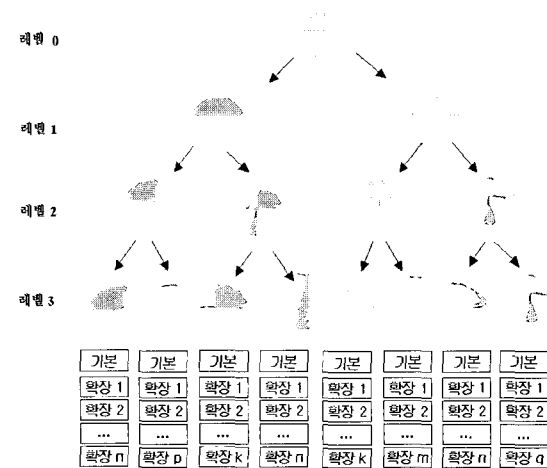


그림 7. 다중 계층 구조
Fig. 7. Multi-layer structure.

<그림 7>은 주어진 삼차원 메쉬 모델을 계층적 메쉬분할 구조로 만들고 최하위 레벨의 분할메쉬에 대해 다

중 계층 구조로 표현한 것이다. 모든 삼차원 메쉬 모델은 <그림 7>과 같은 구조로 표현 가능하며 전송되기 전에 이러한 구조로 송신측에 저장한다.

3. 해상도 결정

삼차원 메쉬 모델을 계층적 메쉬분할 구조로 송신단에 저장한 후, 해상도에 따라 분할메쉬를 전송한다. 해상도는 수신단측에 있는 관찰자의 시각 위치에 따른 분할메쉬의 가지화 정도를 의미한다. 해상도 R은 관찰자의 시각 위치 벡터 V와 각 꼭지점에 있는 법선 벡터 n_j의 사이각 θ에 따라 결정된다. 여기서 j는 꼭지점의 인덱스를 나타낸다. 만약 사이각 θ가 90도 보다 크면 그 꼭지점은 보이지 않게 되고, 90도 보다 작으면 그 꼭지점은 보이게 된다. 사이각 θ는 식 (5)와 같이 계산된다.

$$\theta = \arccos\left(\frac{\vec{V} \cdot \vec{n}_j}{|\vec{V}| |\vec{n}_j|}\right) \tag{5}$$

분할메쉬 A의 대표 사이각 θ_A는 모든 꼭지점에서의 사이각 중 가장 작은 사이각으로 식 (6)에 따라 계산된다.

$$\theta_A = \min[\arccos\left(\frac{\vec{V} \cdot \vec{n}_j}{|\vec{V}| |\vec{n}_j|}\right)] \tag{6}$$

분할메쉬 A의 해상도인 R_A는 대표각 θ_A의 코사인 값과 확장 계층의 총 개수인 R_{max}의 곱으로 얻어진다. 해상도 R_A는 식 (7)과 같이 계산한다.

$$R_A = R_{\max} \times \cos \theta_A \tag{7}$$

<그림 8>는 한 분할메쉬 A에 대한 해상도 결정 과정을 도시한 것이다

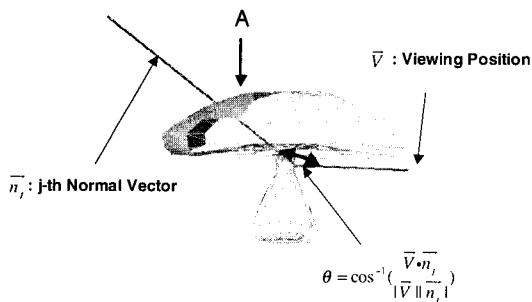


그림 8. 해상도 결정
Fig. 8. Decision of resolution.

4. 분할메쉬 병합

분할메쉬 병합(partitioned mesh merging)은 지식 분할메쉬 {A₁, A₂, ..., A_k}를 한 레벨 위의 부모 분할메쉬 A로 병합하는 과정이다. 여기서 K는 초기 분할메쉬의 수를 나타낸다. 분할메쉬 병합과정은 관찰자의 시각 위치가 변하지 않는 동적시각 전송에서 사용된다.

분할메쉬들은 공통된 경계 정보를 갖고 있다. 분할메쉬의 크기가 작으면 작을수록 전송되는 공통 경계 정보는 더 많이 중첩되어 전송된다. Zan은 전송 오류에 강인하기 위해서 한 분할메쉬의 최소 크기를 32개의 꼭지점으로 해야 한다고 제안했다^[5]. 이 때의 공통 경계 정보는 보통 원 모델 정보의 약 15%에서 30%정도로 상당히 많은 부분을 차지한다. 중첩된 경계 정보를 전송하면, 원래 메쉬 정보보다 많은 정보가 전송되어 채널 사용효율이 떨어진다. 또한, 전체 모델을 한번에 전송하게 되면, 전송 오류에 치명적인 수 있기 때문에 새로운 전송방법이 필요하다.

이와 같은 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 분할메쉬 병합방법을 제안한다. 분할메쉬 병합을 통해서 중첩되어 전송되는 공통 경계 정보를 줄일 수 있고, 가시성에 따라 병합과정을 수행하므로 개념적으로 시각 의존 메쉬분할의 효과를 얻을 수 있다. 또한, 병합 후에도 지식 분할메쉬의 해상도를 계속 유지하기 때문에 병합된 부모 분할메쉬의 해상도는 지역적으로 달라 해당 분할메쉬를 위한 전송 데이터량을 줄일 수 있다. 분할메쉬 병합은 분할메쉬의 기본 계층에서 이루어진다.

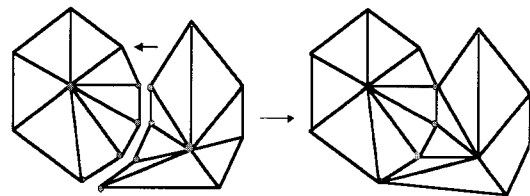


그림 9. 가시 분할메쉬 병합
Fig. 9. Visible partitioned mesh merging.

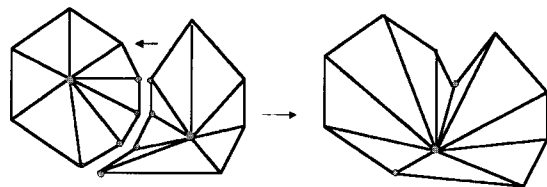


그림 10. 비가시 분할메쉬 병합
Fig. 10. Invisible partitioned mesh merging.

분할메쉬 병합에는 가시 분할메쉬 병합과 비가시 분할메쉬 병합이 있다. 가시 분할메쉬 병합은 보이는 분할메쉬 사이에 이루어지는 병합 과정이고, 비가시 분할메쉬 병합은 보이지 않는 분할메쉬 사이에 이루어지는 병합 과정이다. 가시 분할메쉬 병합은 단순하게 각 공통 경계 꼭지점을 서로 결합한다. 하지만, 비가시 분할메쉬 병합은 각 공통 경계 꼭지점을 결합한 후 공통 경계 에지를 축소하므로써 새로운 기본 계층을 만든다. 이 때 축소된 경계 에지 정보는 스택(stack)에 임시로 저장된다. <그림 9>은 가시 분할메쉬 병합 과정을 보여주고, <그림 10>은 비가시 분할메쉬 병합 과정을 보여준다.

5. 분할메쉬 분리

분할메쉬 분리(partitioned mesh splitting)는 분할메쉬 병합의 역과정이다. 분할메쉬 병합 과정이 정적시각 전송에서 사용되는 반면에, 분할메쉬 분리는 관찰자의 시각 위치가 변하는 동적시각 전송에서 사용된다.

분할메쉬 분리과정은 개념적으로 부모 분할메쉬가 여러 개의 자식 분할메쉬로 분리되는 것이다. 하지만 분리된 분할메쉬가 다시 전송되는 것이 아니다. 왜냐하면 이미 수신측에 정적시각 전송 형태로 분할메쉬가 전송되었기 때문이다. 즉, 분할메쉬 분리는 수신측에 전송될 추가 데이터량을 결정한다. 동적시각 전송인 경우, 수신측에 있는 관찰자의 시각 위치가 시간에 따라 변하기 때문에 각 분할메쉬 해상도를 다시 결정한다. 이렇게 재결정된 해상도를 비교하여 추가 데이터량을 결정한다. 즉, 부모 분할메쉬 A가 자식 분할메쉬 $\{A_1, A_2, \dots, A_k\}$ 로 분리된 후 각 자식 분할메쉬의 해상도는 다시 결정한다. 만약 분리된 한 자식 분할메쉬에 대해 현재 해상도가 분리되기 전 해상도보다 작으면 더 이상 추가되는 데이터는 없다. 하지만, 현재 해상도가 분리되기 전 해상도보다 크면 그 차이 값만큼 확장 계층을 더 전송한다.

분할메쉬 분리에는 가시 분할메쉬 분리 과정과 비가시 분할메쉬 분리 과정이 있다. 가시 분할메쉬 분리 과정은 가시 분할 병합의 역과정으로 각 자식 분할메쉬에 대해 해상도만 다시 결정하면 된다. 비가시 분할메쉬 분리는 비가시 분할메쉬 병합의 역과정으로 스택에 임시로 저장되었던 공통 경계의 에지 분리 정보를 이용하여 자식 분할메쉬를 만든다. <그림 11>는 비가시 분할메쉬 분리 과정을 보여준다.

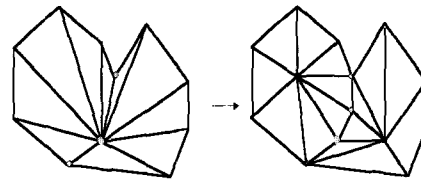


그림 11. 비가시 분할메쉬 분리
Fig. 11. Invisible partitioned mesh splitting.

6. 시각 의존 전송

인간 시점에 따른 전송(view-dependent transmission)은 보이지 않는 분할메쉬보다 보이는 분할메쉬에 보다 높은 우선권을 주어 전송한다. 즉, 보이는 분할메쉬는 해당 해상도만큼의 데이터가 먼저 수신측에 전송된다. 보이는 분할메쉬의 전송되는 데이터는 기본 계층과 확장 계층이다. 반면에 보이지 않는 분할메쉬에서는 단지 기본 계층만 전송된다.

인간 시점에 따른 전송에는 정적시각 전송과 동적시각 전송이 있다^[6,7]. 정적시각 전송은 수신측에 있는 관찰자의 초기 시각 위치에 따라 전송되는 초기 전송 단계이다. 동적시각 전송은 정적시각 전송 후의 단계로 관찰자의 시각 위치가 시간에 따라 변하게 된다.

6.1 정적시각 전송

정적시각 전송은 관찰자의 시각 위치가 변하지 않는다고 가정한다. 즉, 회전(rotation) 또는 줌(zoom)과 같은 동작을 수행하지 않는다. 정적시각 전송에서는 분할메쉬 병합 과정을 사용한다. <그림 12>은 정적시각 전송으로 삼차원 메쉬 모델을 전송하는 예를 보여준다. 사용된 모델은 버섯 모델로 초기 분할메쉬 수가 2이고, 계층적 분할메쉬 구조의 레벨 수가 3이다. 각 레벨별로 분할메쉬를 구분하기 위해 순차적으로 색인되어 있다.

<그림 12>는 정적시각 전송의 예를 보여준다. 최하위 레벨의 분할메쉬 중 0, 2, 3번은 보이지 않는 분할메쉬이고, 나머지 1, 4, 5, 6, 7은 보이는 분할메쉬이다. 따라서 분할메쉬 2와 3에 대해 비가시 분할메쉬 병합 과정이 수행되고, 분할메쉬 4, 5, 6, 7에 대해 가시 분할메쉬 병합 과정이 수행된다. 결과적으로 전송되어 지는 데이터는 레벨 3의 0번 분할메쉬의 기본 계층, 레벨 3의 1번 분할메쉬의 기본 계층과 해당 해상도의 확장 계층, 레벨 2의 1번 분할메쉬의 기본 계층, 레벨 1의 1번 분할메쉬의 기본 계층과 해당 해상도의 확장 계층이다. 즉, 네 개의 분할메쉬가 전송된다.

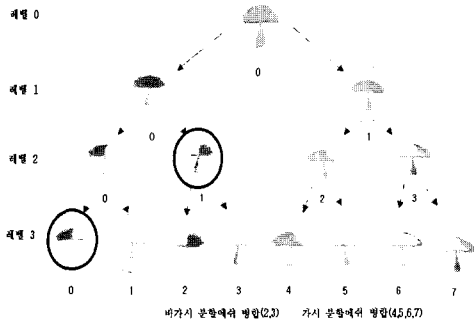


그림 12. 정적시각 전송
Fig. 12. Static viewing transmission.

6.2 동적시각 전송

동적시각 전송은 정적시각 전송과 달리 수신측에 있는 관찰자의 시각 위치가 시간에 따라 변한다고 가정한다. 변경된 시각 위치 정보는 메시지 교환 방식으로 송신측에 전송된다. 동적시각 전송은 분할메쉬 분리 과정을 통해 이루어진다.

<그림 13>는 동적시각 전송의 한 예를 보여준다. 관찰자의 시각 위치가 변경되면, 최하위 레벨에 있는 분할메쉬들의 해상도를 다시 결정한다. 그 결과 <그림 14>와 같이 레벨 3의 0, 1, 4, 6, 7은 보이는 분할메쉬이고, 나머지 1, 3, 5는 보이지 않는 분할메쉬이다. 따라서 레벨 3의 2와 3에 대해서는 비가시 분할메쉬 분리 과정이 수행되고, 레벨 3의 4, 5, 6, 7에 대해서는 가시 분할메쉬 분리 과정이 수행된다. 결과적으로 전송되어지는 추가 데이터는 레벨 3의 0번 분할메쉬의 해당 해상도의 확장 계층, 레벨 3의 2번 분할메쉬의 해당 해상도의 확장 계층, 레벨 3의 4번 분할메쉬의 해상도 차이만큼의 확장 계층, 레벨 2의 3번 분할메쉬의 해상도 차이만큼의 확장 계층이다.

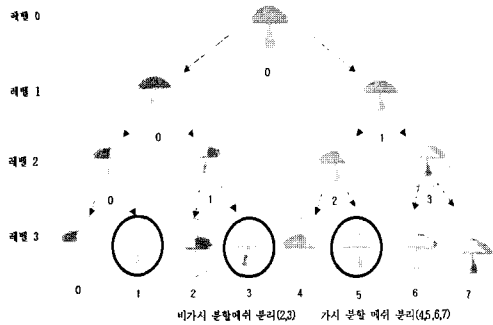


그림 13. 동적시각 전송
Fig. 13. Dynamic viewing transmission.

IV. 실험 결과

1. 계층적 메쉬분할 구조

본 논문에서 실험한 삼차원 메쉬 모델은 소 모델과 버섯 모델이다. 두 모델은 모두 manifold의 형태를 가진다. 시험 모델인 소 모델은 2903개의 꼭지점과 5804개의 폴리곤으로 구성되어 있다. 계층적 메쉬분할을 위한 초기 분할메쉬 개수는 2이고 레벨은 5이다. 버섯 모델은 226개의 꼭지점과 448개의 폴리곤으로 이루어져 있다. 계층적 메쉬분할을 위한 초기 분할 개수는 2이고 레벨은 3이다. <그림 14>는 소 모델의 계층적 메쉬분할 구조를 보여주고 <그림 15>는 버섯 모델의 계층적 메쉬분할 구조를 보여준다.

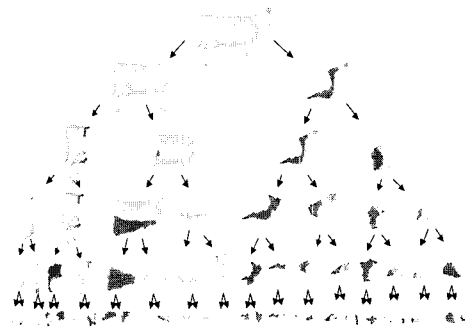


그림 14. 소 모델의 계층적 메쉬분할 구조
Fig. 14. Hierarchical mesh partitioning structure of cow model.

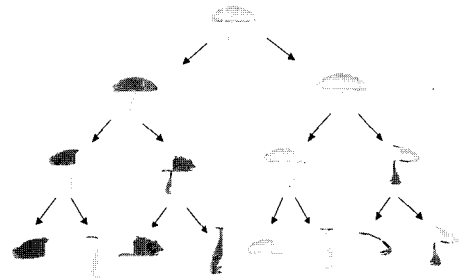


그림 15. 버섯 모델의 계층적 메쉬분할 구조
Fig. 15. Hierarchical mesh partitioning structure of mushroom model.

2. 정적시각 전송

정적 시각 모드 초기 시각 위치는 (x = 0.0, y = 0.0, z = 1.0)이다. <그림 16>과 <그림 17>은 소 모델과 버섯 모델의 정적시각 전송 결과를 보여준다. 왼쪽 그림은 관찰자에게 보이는 부분의 결과이고, 오른쪽 그림은 관찰자에게 보이지 않는 부분이다. 관찰자에게 보

이는 부분에는 해당 해상도만큼의 데이터가 전송되어 왜곡이 없음을 알 수 있다. 반면에 보이지 않는 부분에는 적은 데이터가 전송되어 왜곡이 심함을 알 수 있다.



그림 16. 소 모델의 정적시각 전송
Fig. 16. Static viewing transmission of cow model.



그림 17. 버섯 모델의 정적시각 전송
Fig. 17. Static viewing transmission of mushroom model.

표 1. 정적시각 전송 모드와 동적 전송시각 모드의 전송된 메쉬 정보량 비교

Table 1. Transmitted mesh information comparison of both static and dynamic viewing transmission.

| 모델 | 원 모델 | | 정적시각 모드 | | | | 이% | | | 동적시각 모드 | | 추가정보량 |
|----|------|------|---------|------|-------|-------|------|------|-------|---------|--|-------|
| | F1 | V1 | F2 | V2 | F2/F1 | V2/V1 | F3 | V3 | F3-F2 | V3-V2 | | |
| 버섯 | 488 | 226 | 372 | 172 | 0.762 | 0.762 | 414 | 193 | 42 | 21 | | |
| 소 | 5904 | 2993 | 4382 | 2189 | 0.752 | 0.755 | 4898 | 2457 | 536 | 268 | | |

소 모델인 경우 레벨 3의 1번과 7번 분할메쉬, 레벨 4의 0, 4, 9, 11, 12번 분할메쉬, 레벨 5의 3, 12, 14번 분할메쉬가 해당 해상도로 전송되었다. 하지만, 레벨 4의 8번과 13번 분할메쉬, 레벨 5의 2, 13, 15번 분할메쉬는 기본 계층만 전송되었다.

버섯 모델인 경우, 레벨 1의 0번 분할메쉬와 레벨 3의 1번 분할메쉬가 해당 해상도로 전송되었고 레벨 2의 1번 분할메쉬와 레벨 3의 0번 분할메쉬는 기본 계층만 전송되었다. <표 1>은 정적시각 전송에서 전송되어진 메쉬 정보량을 보여준다. 원래 모델 정보량에 비해 약 23%에서 25% 가량 전송 데이터량이 줄었다.

3. 동적시각 전송

동적시각 전송 모드를 관찰하기 위해서 관찰자의 시각 위치가 (x = 0.0, y = 0.0, z = 1.0) 에서 (x = 1.0, y = 0.0, z = -1.0)로 변했을 때를 실험했다. <그림 18>와 <그림 19>은 소 모델과 버섯 모델의 동적시각 전송 결과를 보여준다. 왼쪽 그림은 추가 메쉬 정보가 전송되기 이전의 상태를 보여주고, 오른쪽 그림은 동적시각 전송으로 보이지 않는 부분이 정제된 모습을 보여준다.



그림 18. 소 모델의 동적시각 전송
Fig. 18. Dynamic viewing transmission of cow model.



그림 19. 버섯 모델의 동적시각 전송
Fig. 19. Dynamic viewing transmission of mushroom model.

소 모델인 경우, 레벨 5의 6, 7, 8, 9, 10, 23, 28, 29, 30, 31번 분할메쉬에 대해 추가 정보가 전송되었고, 버섯모델인 경우, 레벨 3의 0, 2, 3, 6, 7번 분할메쉬에 대해 추가 정보가 전송되었다. <표 1>은 동적시각 전송으로 전송된 추가적인 메쉬 정보량을 보여준다.

4. 단순 메쉬분할과 계층적 메쉬분할 비교

지금부터는 Yang이 제안한 단순 메쉬분할 구조를 사용했을 때와 계층적 메쉬분할 구조를 사용했을 때를 비교한다. 실험에 사용된 모델은 소 모델이고 정적시각 전송에서 비교한다. 우리는 먼저 공통 경계 정보가 두 가지 경우에 같다고 가정한다. 즉, 전송되어지는 분할메쉬의 수는 서로 같다. <표 2>는 두 가지 경우의 결과를 보여주고 <그림 20>은 실험 결과를 도시화하여 보여준다. 먼저, 우리는 두 경우에 대해 보이는 부분은 왜곡이 되지 않았음을 알 수 있다. 하지만, 제안한 계층적 메쉬분할 구조는 개념적으로 시각 의존 메쉬분할이다.

<그림 20>과 같이 단순 메쉬분할 구조를 사용하면 보이지 않는 부분에 더 많은 정보가 전송되었음을 알 수 있다. 결론적으로 정적시각 전송 시 소 모델인 경우 단순 메쉬분할을 사용했을 때보다 제안한 계층적 메쉬분할 구조가 보다 효율적임을 알 수 있다.

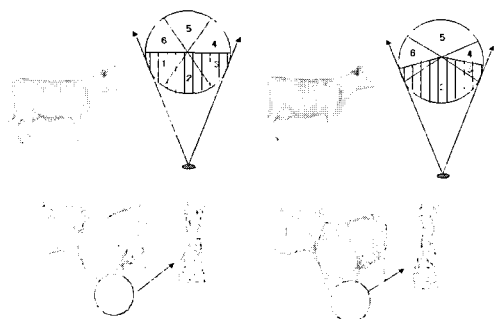


그림 20. 단순 메쉬분할(왼쪽)과 계층적 메쉬분할(오른쪽)
Fig. 20. Simple mesh partitioning(Left) and hierarchical mesh partitioning(Right).

표 2. 단순 메쉬분할과 계층적 메쉬분할 비교
Table 2. Comparison between simple and hierarchical mesh partitioning.

| 모델 | 원 모델 | | 단순 메쉬분할 | | | | 계층적 메쉬분할 | | | | 비교 | | | | |
|----|------|------|---------|------|------|------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| | F1 | V1 | F2 | V2 | F3 | V3 | F2/F1 | V2/V1 | F3/F1 | V3/V1 | F2/F1 | V2/V1 | F3/F1 | V3/V1 | |
| 소 | 18 | 5804 | 2903 | 4960 | 2429 | 4362 | 2189 | 0.855 | 0.836 | 0.752 | 0.755 | | | | |

V. 결론

본 논문에서는 삼차원 메쉬 모델을 전송하는 새로운 방법을 제안하였다. 점진적 메쉬 전송과 순차적 메쉬 전송 방법이 결합된 형태로 시각 의존성을 고려하였다. 삼차원 메쉬 모델을 효과적으로 전송하기 위해서 주어진 모델을 계층적 메쉬분할 구조로 표현하였고, 계층적 메쉬분할 구조로 표현된 삼차원 메쉬 모델을 관찰자의

시각 위치에 따라 분할메쉬 병합과 분할메쉬 분리과정을 통해서 수신측에 전송하였다. 제안한 방법은 삼차원 메쉬 모델을 이용한 웹 기반 멀티미디어 응용과 가상 현실을 이용한 응용에 사용될 수 있을 것이다

참고 문헌

- [1] H. Hoppe, "Progressive Meshes," SIGGRAPH, pp. 99-108, Aug. 1996.
- [2] J. Li and C-C. J. Kuo, "Progressive Coding of 3-D Graphics Models," in Proc, Multimedia Computing and System-97, pp. 136-142, 1997.
- [3] J. T. Tou and R. C. Gonzalez, "Pattern Recognition Principles," Addison-Wesley Publishing Company, 1974.
- [4] S. Yang, C. S. Kim and C-C Kuo, "View-dependent Progressive Mesh Coding Based on Partitioning," SPIE VCIP-2002, vol. 4671, pp 268-279, Jan. 2002.
- [5] Z. Yan, S. Kumar, and C-C 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, pp. 860-873, July 2001.
- [6] 김성열, 안정환, 호요성, "계층적 분할 구조를 이용한 시각 위존 점진적 메쉬 전송," 대한전자공학회 추계학술대회 통신/신호처리 논문집, pp. 247-250, 2002.
- [7] S. Y. Kim, J. H. Anh and Y. S. Ho, "View-dependent Transmission of Three-dimensional Mesh Models Using Hierarchical Partitioning," SPIE VCIP-2003, pp 1928-1938, July 2003.

저자 소개



金成烈(正會員)
2001년 2월 : 강원대학교 정보통신공학과 졸업(학사). 2003년 2월 : 광주과학기술원 정보통신공학과 졸업(석사). 2003년 3월~현재 : 광주과학기술원 정보통신공학과 박사 과정. 소속기관 : 광주과학기술원 정보통신공학과. <주관심분야 : 삼차원 영상 모델링 및 압축, 멀티미디어 전송>

扈堯盛(正會員) 第40券 SP編 第6號 參照
현재 : 광주과학기술원 정보통신공학과 교수