

# 메쉬 병합과 분할 방법에 기반을 둔 3차원 물체의 점진적 표현 방법

안정환 · 호요성

멀티미디어 시대가 도래함에 따라, 컴퓨터 그래픽 기술이 융합된 3차원 합성영상 서비스의 사용이 증가하고 있다. 그러나 일반적으로 3차원 물체는 그 데이터의 양이 아주 방대하여 그대로 전송, 저장, 렌더링하는데 많은 어려움이 있다. 따라서 3차원 물체를 다양한 해상도로 표현하여 점진적으로 전송하는 것이 필요하다. 본 논문에서는 원래의 3차원 물체를 간단한 기본 메쉬로 표현하고, 기본 메쉬에 원래의 정보를 추가하여 다양한 해상도를 지닌 물체로 표현하는 방법을 제안하였다. 이 방법은 3차원 물체의 기하학적인 특성을 고려하여 기본 메쉬를 만들고, 원래 물체의 특징을 그대로 유지하면서 병합과 분할 변환을 통해 손실이 적은 다양한 해상도를 표현할 수 있다.

## I. 서론

디지털 비디오와 오디오 신호를 효율적으로 전송하거나 처리할 수 있는 MPEG-1이나 MPEG-2 국제 표준이 개발되어 널리 이용됨에 따라, 인간의 생활을 보다 편리하고 다양하게 만들어 줄 멀티미디어 시대가 빠른 속도로 우리에게 다가오고 있다. 이러한 기술 진보의 영향으로 영상 정보 서비스는 영상 신호의 효율적인 전달 및 저장이라는 기존의 동영상 압축 표준이 갖는 기능뿐만 아니라, 인터넷상에서 WWW(World Wide Web) 서비스의 이용이 급증함에 따라 엄청난 양의 멀티미디어 정보를 제공하고, 다양한 형태의 창조형 멀티미디어 서비스가 창출되고 있다.

최근에는 오디오와 비디오 부호화 기술과 컴퓨터 그래픽 기술이 점차 융합되어, 카메라로 입력된 자연 영상과 컴퓨터에 의해 생성된 합성 영상이 같이 섞인 복합 영상에 대한 영상 서비스의 요구가 증대되고 있다. 또한 인터넷상에서의 멀티미디어 서비스가 보편화됨에 따라, 삼차원 컴퓨터 그래픽 정보를 네트워크를 통해 송수신하는 공동 설계 작업, 원격 게임, 원격 교육 등과 같은 대화형 그래픽 응용 서비스가 점차 증가하고 있는 추세이다.

이러한 새로운 멀티미디어 요구에 부합하여 MPEG-4 SNHC(Synthetic and Natural Hybrid Coding)(1) 그룹에서는 서로 네트워크화된 공동 가상환경을 구현하려는 최종 목표를 세우고, 이를 위해 합성 데이터 표현의 압축 및 단순화, 매개 변수로 표현된 애니메이션 모델 등을 연구 개발하고 있다.

일반적으로 가상공간에서 3차원 물체는 3D Scanning System과 같은 도구를 이용하여 삼각형 메쉬(Mesh)로 표현된다. 그러나 삼각형 데이터의 수는 보통  $10^5 \sim 10^7$  정도로 그 데이터의 양이 엄청나게 많아서, 이러한 3차원 데이터를 그대로 전송하거나 저장, 렌더링하는데 어려움이 많다. 따라서 기본적인 3차원 물체를 전송한 후에, 상세한 정보 데이터를 점진적으로 전송하여 점차적으로 높은 해상도를 가진 물체를 만드는 방법이 연구되고 있다(2)~(5). 즉, 처음에는 물체의 가장 중요한 특징 정보만 전송하고, 나중에 부가적으로 정보를 덧붙여 완전한 3차원 물체를 만들어 가는 것이다. 결과적으로 복호기는 응용 분야의 요구사항에 따라 낮은 해상도의 물체에서 서로 다른 해상도를 지닌 물체를 만들 수 있다.

본 논문에서는 전역 오류의 크기에 기반을 둔 메쉬 병합 방법을 이용하여 3차원 물체를 단순화된 기본 메쉬로 만들었다. 이 방법은 3차원 물체의 기하학적인 특성을 이용하여 제거될 수 있는 메쉬의 꼭지점을 찾아 제거하여 삼각형 메쉬를 단순화시킨다. 그리고 Mesh Removal과 Addition 변환을 통하여 손실이 적도록 원래 모델에 대한 다양한 해상도의 근사값을 표현한다. 본 논문에서는 3차원 메쉬의 효과적인 단순화 방법과 점진적인 전송 방법을 제안하고, 실제 VRML(6) 데이터로 실험한 결과를 보였다.

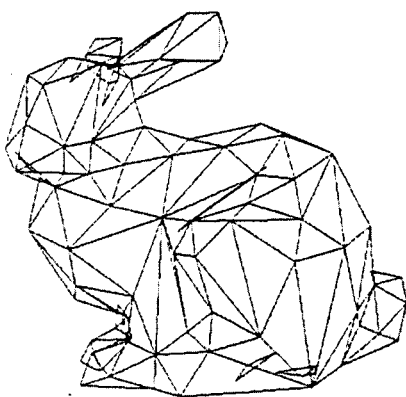


그림 1. 삼각형 메쉬구조를 가진 3차원 물체

## II. 3차원 물체의 특징과 기존의 방법

이 절에서는 삼각형 메쉬를 이용한 3차원 물체의 표현 방법과 기존에 제안된 삼각형 단순화 방법들의 문제점을 살펴본다.

### 1. 3차원 물체의 표현 방법

그림 1에서 보듯이, 3차원 물체의 모델은 각 점들을 연결하는 선(Edge)을 따라 삼각형으로 구성된 부분적인 선형 표면이다. 보통 3차원 물체는 크게 구성 데이터(Structure Data)와 특성 데이터(Attribute Data)로 구성된다. 구성 데이터는 기하학(Geometry) 정보, 연결성(Connectivity)정보로 나뉜다[7]. 기하학 정보는 삼차원 물체를 구성하는 각 점들의 위치 정보로 보통 32 비트의 실수로 표현된다. 연결성 정보는 주어진 각 점들이 어떻게 메쉬를 구성하는지에 대한 정보를 나타낸다. 그리고 광도 측정(Photometric) 정보는 각각의 점과 메쉬에 대한 색깔, 표면의 법선(Normal) 벡터 성분, 질감(Texture) 정보를 나타낸다. 따라서 각 점들의 좌표값과 그들의 연결성 정보가 아주 중요하다. 이렇게 3차원 물체를 이루는 삼각형 메쉬는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$M(V, C) : V = \{v_1, v_2, v_3\}, v_i \in R^3 \tag{1}$$

$$C = \{v_i, v_j, v_k\}$$

즉, 메쉬  $M(V, C)$ 에서  $V$ 는 점들의 위치로 메쉬의 모양을 정의하며,  $C$ 는 이런 점들의 연결성 정보로 메쉬의 위상 형태를 정의한다.

### 2. 삼각형 메쉬 단순화 방법

삼각형 메쉬를 단순화시키기 위해 Coplanar Facets Merging, Vertex/Edge/Face Decimation, Energy Function Optimization, Re-Tiling, Vertex Clustering, Multiresolution Analysis 등의 다양한 방법들이 제안되었다 [8]~[13].

Coplanar Facets Merging 방법[8]은 삼각형 메쉬들 중에서 같은 평면이나 비슷한 평면에 있는 면을 찾아 더 큰 다각형으로 만드는 방법이다. Re-Tiling 방법[9]은 원래의 메쉬 표면에 불규칙하게 새로운 꼭지점들을 삽입하여 최대 곡률 위치에 옮겨지고, 원래의 점들은 제거되거나 새로운 삼각형으로 만들어지는 방법이다. Energy Function Optimization 방법[10]은 메쉬의 에너지 함수를 정의하여 이 함수가 최소가 되도록 꼭지점을 제거하거나, 삼각형 에지(Edge)의 붕괴(Collapse), 바꾸기(Swap)등을 수행하는 방법이다. 그러나 수행 시간이 많이 걸리고, 원래 메쉬의 점들이 유지되지 못하는 단점을 가지고 있다. Vertex Clustering 방법[11]은 위상학적인 근접에 기반을 두고, 꼭지점들을 그룹으로 묶어서 하나의 새로운 꼭지점으로 대체하는 방법인데, 위상(Topology)과 모양(Shape)이 보존되지 못하는 단점이 있다. Mesh Decimation 방법[12]은 메쉬의 국부적인 해석을 통해 제거될 수 있는 점들을 판단하여 제거한 뒤, 새로운 삼각형으로 만드는 방법이다. Mutiresolution Analysis 방법[13]은 메쉬의 표면을 재메쉬화(Re-Meshing), 재표본화(Re-Sampling)하고, 웨이블릿 계수를 이용한 분할 방식으로 다양한 해상도로 표현하는 방법이다.

위의 방법들 중에서 Mesh Decimation 방법은 다른 방법에 비해 수행 시간이 빠르며, 예리한 에지(Sharp Edge)나 각도(Angle)를 보존하고, 원래 메쉬 점의 위치가 변하지 않는다는 장점이 있다. 그러나 지역 오류만 고려하므로 이 방법으로 인해 발생하는 근사화 오류를 사용자가 제어할 수 없

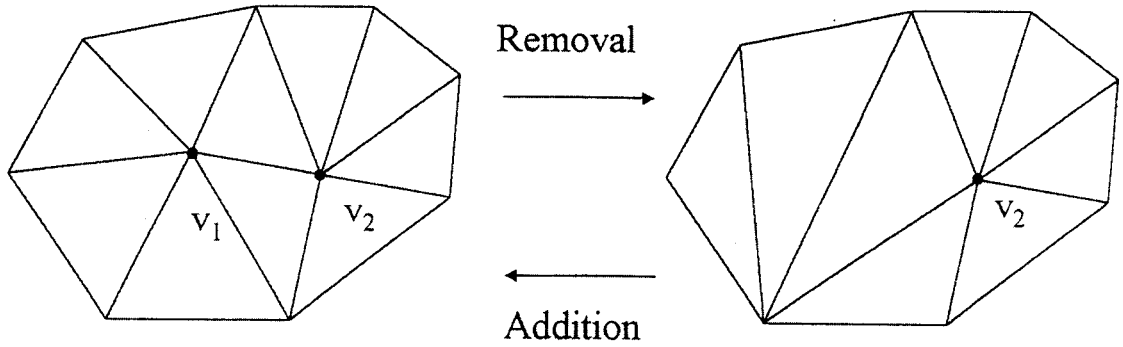


그림 2. Mesh Removal과 Mesh Addition Operation

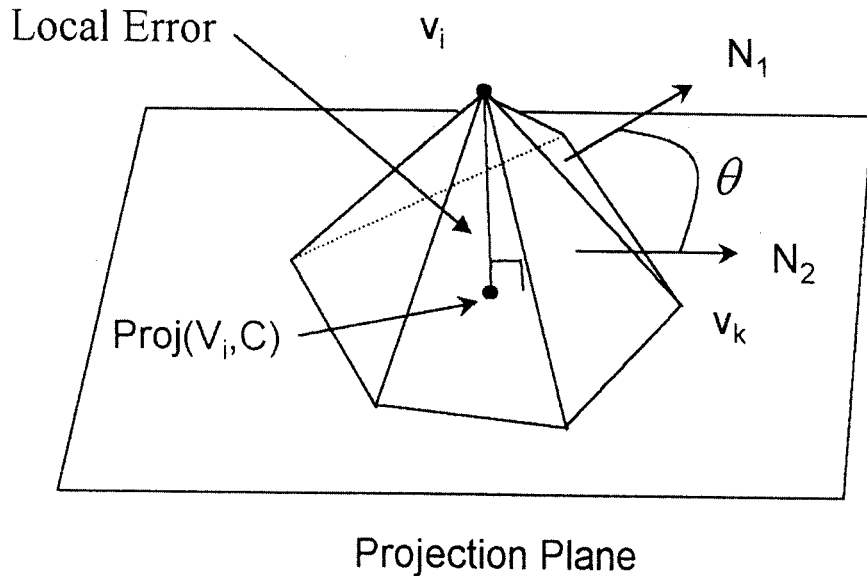


그림 3.  $v_i$ 와  $proj(v_i, c)$ 와의 관계

고, 우리가 원하는 LOD(Level of Detail)를 쉽고 정확하게 표현할 수 없다. 따라서 본 논문에서는 지역 오류와 전역 오류를 고려하여 이런 문제점을 해결하였다.

### III. 메쉬 병합/분할 방법 및 점진적 전송

주어진 3차원 물체를 점진적으로 압축하기 위해서는 먼저 기본적인 형태를 지닌 기본 물체를 만든 후에 여기에 부가적으로 원래의 정보를 추가하여 다중해상도로 표현을 한다. 기본 물체를 만들어 원래의 물체를 얻기 위해서는 그림 2에 나와 있는 것처럼 Mesh Removal 방법을 반복적으로 사용

한다. 그림 2에서 메쉬의 꼭지점들에 대한 기하학적인 특성을 정의하고 제거될 수 있는 점들을 찾는다. 그리고 그 점을 Mesh Removal 동작으로 제거하여 점차 단순화된 물체를 만드는 것이다. 다음에 복호기에서는 전송된 기본 메쉬  $M^0(V, C)$ 에 점진적으로 전송되는 부가 정보를 이용하여 Mesh Addition 방법을 적용하여 응용물의 요구에 맞추어 알맞은 해상도로 복원을 한다. 예를 들어, 가상 환경에서 아주 멀리 있는 물체의 경우, 관심 대상의 물체가 아닌 경우, 또는 작은 물체인 경우에는 낮은 해상도의 물체가 필요하다. 반대로, 아주 가까이 있거나 아주 중요한 물체인 경우에는 높은 해상도를 지닌 물체를 복원한다.

표 1. 주어진 꼭지점의 순서

|                    |                |                |                |     |                  |                |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|-----|------------------|----------------|
| Index              | 1              | 2              | 3              | ... | n-1              | n              |
| Vertex             | V <sub>1</sub> | V <sub>2</sub> | V <sub>3</sub> | ... | V <sub>n-1</sub> | V <sub>n</sub> |
| E <sub>local</sub> | E <sub>1</sub> | E <sub>1</sub> | E <sub>3</sub> | ... | E <sub>n-1</sub> | E <sub>n</sub> |

표 2. 제거될 후보 점들의 순서

|                    |                |                 |                |     |                |                  |
|--------------------|----------------|-----------------|----------------|-----|----------------|------------------|
| Index              | 1              | 2               | 3              | ... | m-1            | m                |
| Vertex             | V <sub>3</sub> | V <sub>15</sub> | V <sub>6</sub> | ... | V <sub>1</sub> | V <sub>m-1</sub> |
| E <sub>local</sub> | E <sub>3</sub> | E <sub>15</sub> | E <sub>6</sub> | ... | E <sub>1</sub> | E <sub>m-1</sub> |
| E <sub>index</sub> | 0.05           | 0.10            | 0.15           | ... | 0.97           | 1                |

1. 전역 오류에 기반을 둔 매쉬 병합 방법

주어진 물체에서 기본 매쉬  $M^0(V, C)$ 를 만들기 위해서는 먼저 삼각형 매쉬 표면의 임의의 점  $v_i$ 를 선택하고,  $v_i$ 를 기준으로 주위에 있는 삼각형 평면들과 그 삼각형 평면의 점  $v_k$ 를 찾는다. 이렇게 구해진 삼각형 평면들의 수직 벡터  $N_k$ 를 구하고 법선 벡터들의 평균벡터  $\bar{N}_i$ 와  $v_k$ 들의 평균 좌표값  $\bar{v}_i$ 를 구한다.

이렇게 구해진 값에서  $\bar{N}_i$ 를 수직 벡터로 하고  $\bar{v}_i$ 를 지나는 정사영 평면(Projection Plane)을 정의한다. 정사영 평면을 구한 후, 임의의 점  $v_i$ 를 정사영 평면으로 투영하여  $proj(v_i, c)$ 점을 구한다(그림 3 참조).

이렇게 투영하여 얻어진 점과  $v_i$ 까지의 거리를 식 (2)를 이용하여 계산하고, 이 값을  $v_i$ 에 대한 지역 오류(Local Error)로 정의한다.

$$E_{local}(M) = dist(v_i, P(v_i, c)) \tag{2}$$

여기서  $P(V, C)$ 는 정사영 함수이다.

그리고  $v_i$ 점을 기준으로 이 점과 연결되어 있는 임의의 점  $v_k$ 를 선택하여 이 두 점을 공유하고 있는 에지  $edge_{v_i, v_k}$ 를 정의한다. 다음에  $edge_{v_i, v_k}$ 를 공유하고 있는 2개의 삼각형 평면의 수직 벡터  $N_1$ 와  $N_2$ 를 이용하여 식 (3)과 같이 에지의 특성을 정의한다. 즉,  $edge_{v_i, v_k}$ 를 공유하고 있는 주위의 삼각형 평면이 이루는 이면각(Dihedral Angle)으로 에지의 성질을 알 수 있다.

$$\theta_i(edge_{v_i, v_j}) = \cos^{-1} \frac{(N_1 \cdot N_2)}{\|N_1\| \|N_2\|} \tag{3}$$

위에서 구해진  $E_{local}$ 와  $\theta_i(edge_{v_i, v_j})$ 를 이용하여 Vertex  $v_i$ 를 다음과 같이 3가지로 나눈다.

- (a) Simple : 임의의  $v_i$ 점이 완전하게 삼각형 평면으로 둘러 쌓여져 있고,  $E_{local}$ 이 임계값보다 작은 경우
- (b) Boundary : 임의의  $v_i$ 점이 완전하게 삼각형 평면으로 들

러 쌓여 있지는 않고,  $E_{local}$ 이 임계값보다 작은 경우

- (c) Complex : 1) Simple과 Boundary경우가 아닌 경우
- 2) Simple, Boundary로 분류된 삼각형 매쉬가 어떤 임계값보다 작은 이면각을 가지고 있는 경우

단지 Simple과 Boundary의 경우만이 제거될 수 있는 점이며, Complex인 경우는 제거할 수 없다.

다음으로 식 (4)를 이용하여 전역 오류를 구한다. 여기서  $m$ 은 Simple과 Boundary인 점들이다.

$$E_{global} = \sum_{i=0}^m dist(V_i, P(V_i, C)) \tag{4}$$

전역 오류는 원래의 물체와 단순화된 물체 사이의 오류를 의미한다. 이렇게 전역 오류를 이용하여 Removal 방법의 순서를 정한다. 먼저  $m$ 에 포함되는 점들에 대해서 지역 오류 크기로 오름차순으로 정렬한다. 그리고 식 (5)을 이용하여  $E_{index}$ 을 정한다.

$$E_{index} = \frac{\sum_{j=0}^k dist(v_j, proj(v_j))}{E_{global}} \tag{5}$$

여기서  $k$ 는 유일한(Unique) 순서를 가지고 있으며  $m$ 까지 증가한다.

표 1은 주어진 3차원 물체의  $n$ 개의 점들에 대해서 꼭지점들과  $E_{local}$ 를 보여준다.

위에서 언급한 방법을 사용하여 제거될 수 있는  $m$ 개의 점들을 구하고, 이 점들에 대해서만 오름차순으로 정렬을 한 다음,  $E_{index}$ 를 구한다. 표 2는 제거될 후보점들의 순서를 나타내고 있다. 여기서  $E_{index}$ 는 제거될 수 있는 점들의 누적 에러를  $E_{global}$ 로 정규화시킨 값으로, 꼭지점을 제거했을 경우에 3차원 물체에 생기는 에러를 의미한다. 따라서 후호화기에서는 3차원 물체에 원하는 만큼의 에러를 넣을 수 있으며 손쉽게 에러를 조정할 수 있다.

2. 점진적 전송

지금까지 주어진 3차원 매쉬 구조를 기본 매쉬로 만들기 위한 매쉬병합 방법에 대해 설명하였다. 이렇게 매쉬의 점들을 제거하면 구멍(Hole)이 생기는데, 이 구멍을 다시 삼각형으로 만들어야 한다. 먼저 그림 4와 같이 구멍에 관련된 매쉬의 점들을 찾아서, 그 중 임의의  $v_i$ 로부터 거리가 최소인 값을 찾아 삼각형이 되도록 이어 준다. 이렇게 되면 2개의 삼각형이 제거된다. 이때 제거되는 점  $v_i$ 와 대치되는 점  $v_j$ , 그리고 제거되는 삼각형에 있는  $v_i$ 와  $v_j$ 를 제외한  $v_m$ 과  $v_n$ 을

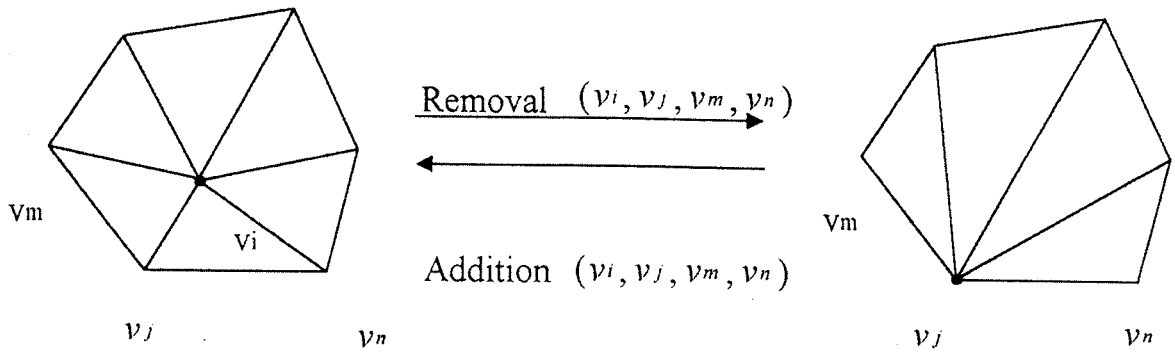
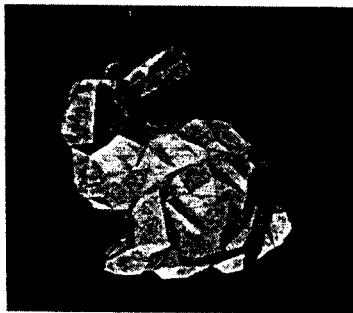
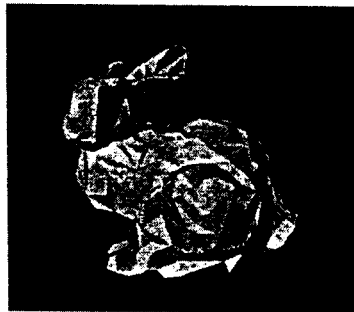


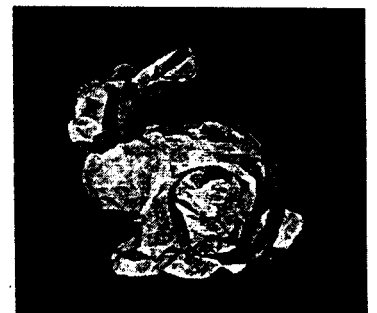
그림 4. Mesh 제거와 Mesh 첨가의 변환



(a) 70% Reduction  
Vertex의 수 : 748



(b) 67% Reduction  
Vertex의 수 : 851



(c) 47% Reduction  
Vertex의 수 : 1363



(d) 40% Reduction  
Vertex의 수 : 1159



(e) 15% Reduction  
Vertex의 수 : 2163

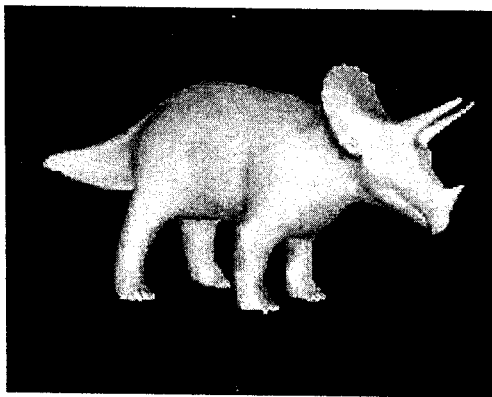


(f) 0% Reduction  
Vertex의 수 : 2531

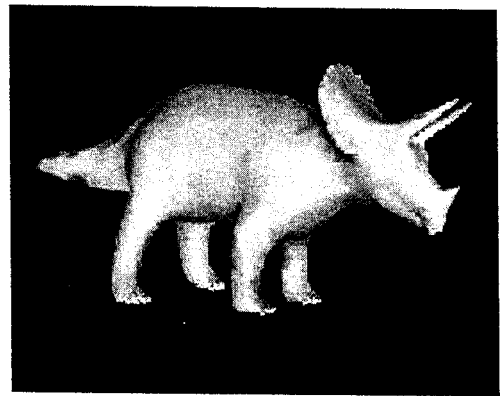
그림 5. Bunny의 점진적 전송

표 3. Bunny의 실험 결과

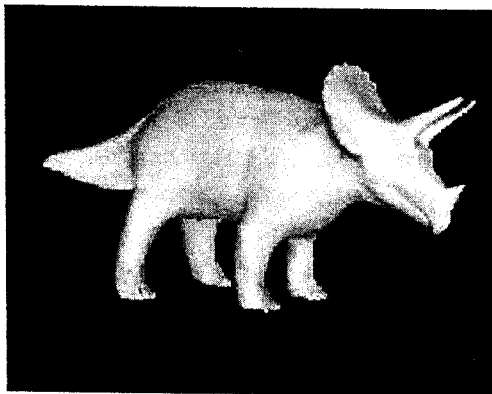
| $E_{target}$ | 꼭지점 감소율 | 꼭지점의 수 | 삼각형의 수 | 파일 크기   |
|--------------|---------|--------|--------|---------|
| 0            | 0 %     | 2,531  | 4,998  | 179,749 |
| 10           | 15 %    | 2,163  | 4,262  | 152,401 |
| 50           | 40 %    | 1,559  | 3,054  | 107,811 |
| 80           | 47 %    | 1,363  | 2,660  | 93,230  |
| 80+50        | 67 %    | 851    | 1,634  | 71,599  |
| 80+80        | 70 %    | 748    | 1,442  | 49,099  |



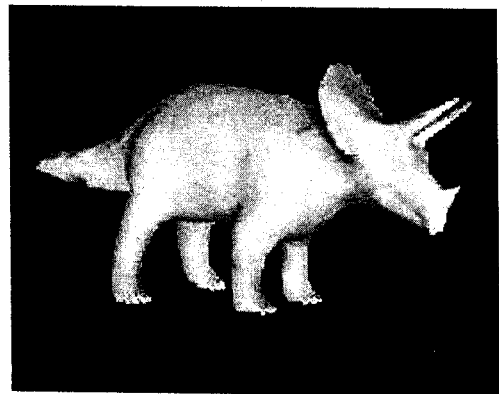
(a) 52% Reduction  
꼭지점 수 : 1351



(b) 40% Reduction  
꼭지점의 수 : 1701



(c) 11% Reduction  
꼭지점의 수 : 2519



(d) 0% Reduction  
꼭지점의 수 : 2832

그림 6. Triceratops의 점진적 전송

표 4. Triceratops의 실험 결과

| $E_{target}$ | 꼭지점 감소율 | 꼭지점의 수 | 삼각형의 수 | 파일 크기   |
|--------------|---------|--------|--------|---------|
| 0            | 0 %     | 2,832  | 5,659  | 203,680 |
| 10           | 11 %    | 2,519  | 4,716  | 180,438 |
| 50           | 40 %    | 1,701  | 3,959  | 140,583 |
| 80           | 52 %    | 1,351  | 3,004  | 124,043 |

저장한다. 이렇게 4개의 점에 대한 정보를 복호기에 전송을 하면, 복호기에서는 역으로 제거됐던 점  $v_i$ 와 2개의 삼각형을 추가하여 원래의 메쉬 구조를 복원할 수 있다.

#### IV. 실험 결과

본 논문에서는 현재 3차원 데이터의 처리를 위해 널리 쓰이고 있는 VRML(Virtual Reality Modeling Language) 데이터에 대해 C언어를 이용하여 실험하였다. 실험에 쓰인 데이터는 Bunny물체와 Triceratops 물체이다. Bunny는 2531개의 꼭지점과 4998개의 삼각형 면을 가지고 있으며, Triceratops는 2998개의 꼭지점과 5659개의 삼각형 면을 가지고 있다. 그림 5는 Bunny모델에 대한 다양한 해상도를 지닌 모델을 보여준다. 처음에 주어진 3차원 물체에 메쉬 병합방법을 적용하여 기본 메쉬  $M^0(V, C)$ 를 만들고, 원래 메쉬에 대한  $Removal(v_i, v_j, v_m, v_n)$  정보를 저장한다. 다음에는  $Removal(v_i, v_j, v_m, v_n)$ 의 순서를 역으로 재정렬한다. 이 정보는 계속적으로 복호기로 전송되어  $Addition(v_i, v_j, v_m, v_n)$  동작에 사용된다.

Bunny 모델에 대한 기본 메쉬  $M^0(V, C)$ 를 만들기 위해 80%의  $E_{target}$ 를 지닌 물체를 만든 후에, 반복적으로 다시 80%의 에러를 주어 기본 메쉬를 만들었다. 그리고  $E_{target}$ 에 10%, 50%, 80%등으로 변화시켜 다양한 해상도로 표현하였다. 기본 메쉬의 꼭지점 수는 748개, 삼각형 면의 개수는 1442이다. 전체적으로 데이터가 대략 1/4 정도로 줄어들었지만, 전체적인 윤곽선 모습은 그대로 보존이 되고, 특징적인 귀, 입, 다리, 꼬리 부분은 크게 변형되지 않고 유지되는 것을 알 수 있다. 그림 4의 (b)에서 (f)까지는 기본 메쉬에 추가적으로 꼭지점을 첨가하여 점진적으로 높은 해상도를 지닌 물체를 보여준다. 따라서 복호기에서는 응용물에 맞게 원하는 해상도를 가진 물체를 선택하여 사용할 수 있다. 표 3과 표 4는 실험 결과를 정리한 것이다.

다음으로 Triceratops 모델에 대해서 똑같은 실험을 수행하였다. 이 모델은 얼굴의 뿔 부분과 다리, 발가락, 꼬리등 예리하고 복잡한 에지를 많이 가지고 있다. 따라서 기본 메쉬를 만들 때 이러한 부분을 그대로 유지해야 한다. 그림 6은 이 모델에 대한 실험 결과를 보여주는데, 결과 그림은 모두 렌더링된 것이다. 그림 6의 (a)는 기본 메쉬로 꼭지점의 수가 1/2로 줄어든 결과이다. 그러나 얼굴과 다리의 복잡한 부분은 그대로 유지되었음을 알 수 있다.

#### V. 결 론

본 논문에서는 전역 오류에 기반을 둔 메쉬병합과 분할 방법을 이용한 점진적 전송 방법을 제안하였다. 메쉬병합 방법은 꼭지점의 정사영과 이면각으로 지역 오류와 전역 오류를 정의하여 메쉬를 단순화시킨다. 그리고 Mesh Removal과 Addition 변환을 통하여 기본 메쉬로부터 점진적으로 원래의 메쉬를 복원한다. 이 방법은 크게 다음과 같이 3가지 장점을 가지고 있다. 첫째, 3차원 데이터의 수를 줄일 때 쉽고 정확한 오류의 제거가 가능하고, 둘째 유한 값의 오류가 존재하며, 셋째 제거되는 점들이 유일한(Unique) 순서를 가지고 있으므로 LOD를 구현할 때 사용자가 선택적으로 다양한 연속 해상도 변이를 효과적으로 구현할 수 있다.

#### (참고문헌)

- [1] "MPEG-4 Overview," ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N1730, Stockholm, July, 1997.
- [2] H. Hoppe, "Progressive Meshes," Proceeding of SIGGRAPH'96, pp.99-108, August 1996.
- [3] M. Garland and P. Heckbert, "Surface Simplification using Quadric Error Metrics," Proceeding of SIGGRAPH'97, 1997.
- [4] H. Hoppe, "Efficient Implementation of Progressive Meshes," Proceeding of SIGGRAPH'98, 1998.
- [5] J. Rossignac and P. Borrel, "Multi-Resolution 3D Approximation for Complex Scenes," Geometric Modeling in Computer Graphics, pp.455-465, 1993.
- [6] A. Nadeau, *VRML 2.0 Sourcebook*, Wiley, 1997.
- [7] M. Deering, "Geometry Compression," Computer Graphics : Proceeding of SIGGRAPH'95, pp.13-20, 1995.
- [8] P. Hinker and C. Hansen, "Geometric Optimization," IEEE Visualization 93, pp.189-195, Oct. 1993.
- [9] G. Turk, "Re-tiling Polygonal Surfaces," SIGGRAPH'92, pp.55-64, 1996.
- [10] H. Hoppe, T. DeRose, T. Duchamp, J. McDonald and W. Stuetzle, "Mesh Optimization," SIGGRAPH'93, pp.19-26, July, 1993.
- [11] J. Rossignac and P. Borrel, "Multi-resolution 3D Approximation for Rendering Complex Scenes,"

Geometric Modeling in Computer Graphics,  
pp. 455-465, 1993.

- [12] W. Schroeder and J. Zarge, "Decimation of Triangle Meshes," SIGGRAPH'92, pp.65-70, 1992.
- [13] M. Lounsbery, T. Derose and J. Warren, "Multiresolution Analysis for Surfaces of Arbitrary Topological Type," Tech. Rep., Univ. of Washington.



**안정환 (安廷桓)**

1996. 2 : 한국항공대학교 항공통신정보공학과 (학사)  
1998. 2 : 광주과학기술원 정보통신공학과 (석사)  
1998. 3 ~ 현재 : 광주과학기술원 정보통신공학과  
(박사과정)

관심분야 : 3차원 영상 부호화, 디지털 신호처리,  
영상신호 처리 및 압축, 초저속 영상통신



**호요성 (扈堯盛)**

1981. 2 : 서울대학교 전자공학과 (학사)  
1983. 2 : 서울대학교 전자공학과 (석사)  
1983. 3 ~ 1995. 9 : 한국전자통신연구소 선임연구원  
1989. 12 : University of California, Santa Barbara  
Dept. of Electrical and Computer Engr. (박사)  
1990. 1 ~ 1993. 5 : 미국 Philips 연구소  
Senior Research Member

1995. 9 ~ 현재 : 광주과학기술원 정보통신공학과 부교수  
관심분야 : 디지털 신호처리, 영상신호 처리 및 압축,  
초저속 영상통신, 디지털TV와 고선명 TV 방식,  
멀티미디어 통신