

## 시점과의 방향관계를 고려한 다단계 모델 생성 기법

# A Multiresolution Model Generation Method Preserving View Directional Feature

김형석, 정순기, 원광연  
HyungSeok Kim, SoonKi Jung, KwangYun Wahn

한국과학기술원 전산학과

### 요약

복잡한 가상환경을 렌더링하는 방법으로 다단계 모델을 이용한 LoD (Level-of-Detail) 기법이 널리 이용되고 있다. 효과적인 다단계 모델 생성에 있어, 원래의 모델이 갖고 있는 중요한 시각적 요소를 보존하면서 낮은 상세도의 여러 모델을 생성하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 실루엣이나 후면(backface)와 같은 시점과의 방향관계에 의한 요소들을 고려한 다단계 모델 생성기법을 제안한다. 본 논문에서는 시점과의 방향관계를 가우스 구 (Gaussian sphere) 를 확장한 다단계 관측구로 표현한다. 관측구는 각각의 면과 시점과의 방향관계를 효과적으로 표현함으로써 실루엣과 같은 방향관계를 효율적으로 관리할 수 있다. 또한, 효과적인 자료 관리를 위하여 다단계 관측구를 사진트리 (quad-tree) 의 형태로 표현하였다. 본 논문에서는 제안된 관측구를 이용하여 실시간 단순화 기법을 개발하고, 실제 실루엣 보존의 결과를 보인다. 제안된 방법을 사용하여 시점과의 방향관계를 고려한 다단계 모델을 생성하여 실시간 렌더링에 이용할 수 있다.

### Abstract

The idea of level-of-detail based on multiresolution model is gaining popularity as a natural means of handling the complexity regarding the realtime rendering of virtual environments. To generate an effective multiresolution model, we should capture the prominent visual features in the process of simplifying original complex model. In this paper, we incorporate view dependent features such as silhouette features and backface features, to the generation process of multiresolution model. To capture the view directional parameter, we propose multiresolution view sphere. View sphere maps the directional relationship between object surface and the view. Using the view sphere, coherence in the directional space is mapped into spatial coherence in the view sphere. View sphere is generated in multiresolution fashion to simplify the object. To access multiresolution view sphere efficiently, we devise quad tree for the view sphere. We also devise a mechanism for realtime simplification process using proposed view sphere. Using proposed mechanism, regenerating simplified model in realtime is effectively done in the order of number of rendered vertices.

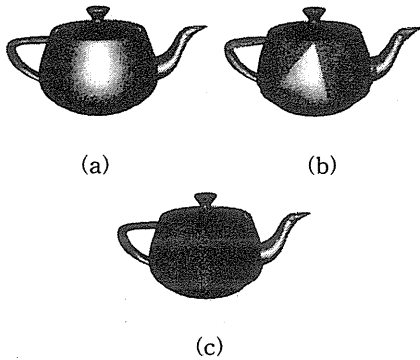
## 1. 개요

LOD (Level-of-Detail) 기법은 복잡한 가상환경을 실시간에 렌더링 하기 위해 필요한 기법중의 하나이다. 복잡한 가상환경을 제한된 하드웨어의 성능에 맞게 렌더링 하기 위해서는

사용자에게 가장 적은 인지적 영향을 주는 범위내에서 렌더링 대상 물체의 상세도를 낮추어 렌더링 하여야 한다. 이렇게 렌더링 대상물체를 여러 상세도 단계로 표현하고 제한에 맞는 적절한 상세도의 표현을 선택하여 렌더링 하는

기법을 LOD 기법이라 한다.

LOD 를 위한 다단계 모델의 생성은 실시간 렌더링을 위해 반드시 거쳐야 하는 과정의 하나이다. 복잡한 모델로부터 단순화 과정을 거쳐 여러 단계의 복잡도를 갖는 모델을 생성하는데 있어 여러 가지 기준과 원칙이 적용되었으나, 가급적 원래의 모델과 단순화된 모델 사이에 시각적/인지적 차이를 최소화 하는 것이 가장 중요한 원칙이 되어야 할 것이다.



[그림 1] 물체의 단순화된 표현

삼차원 물체들의 시각적 특징으로는 삼차원 물체의 체적, 표면의 곡률과 같이 물체를 바라보는 시점과 관계없이 물체의 고유한 기하학적 성질에 따라 결정되는 정적인 요소들과 시점의 상대위치에 따라 변화하는 물체의 실루엣과 같은 동적인 요소들이 있다. 특히, 실루엣은 폴리곤으로 표현된 물체를 효과적으로 렌더링하기 위한 주요한 시각적 요소 중 하나이다.[3].

그림 1은 물체의 단순화된 표현의 예를 보인다. 그림 1의 (a)는 다각형 3,751개의 모델이다. 이를 다각형 1,529 개의 모델로 단순화시킨 예가 (b)이며, 같은 모델에 대하여 실루엣을 보존하여 다각형 1,453 개의 모델로 표현한 예가 (c)이다. 그림에서 보듯이 (b)에 비하여 (c)가 보다 시각적으로 (a)에 근사한 모습을 보여준다. 특히, 그림에서의 주전자 덮개 부분과 손잡이와 같이 곡선의 형상이 많은 경우 그 효과는 뚜렷하다.

기존의 여러 연구들은 정적인 요소들을 고려한 다단계 모델 생성을 중심으로 진행되어져 왔다 [1]. 정적인 요소는 물체 내의 두 점간의 거리, 면의 수직 벡터 (normal vector) 간의 차이, 모서리(edge)의 날카로움 정도들로서, 물체에 고유하며 실시간에 변화하지 않는 요소들을

지칭한다. 모델 단순화 과정에서 정적인 요소들에 대한 고려는 렌더링 이전에 미리 취하여 질 수 있으며, 이 때문에 기존의 LOD 모델 생성 방법은 정적인 요소들만을 주로 고려해 왔다. 이에 반하여 실루엣과 같이 시점의 위치나 방향에 따라 변화하는 시각적 요소의 경우, 시점이 이동함에 따라 적절히 그 단계를 생성/선택할 수 있어야 한다. 특히 실루엣은 시점과 물체의 면간의 관계에 의하여 결정되는 요소로서 기존의 방법과 같이 물체를 이루는 각 요소들간의 위치 관계만으로는 다단계 모델을 생성시 이 요소를 고려해주기 어려운 문제가 있다.

본 논문에서는 실루엣과 같이 시점과 물체와의 상대적 위치 관계에 의한 요소를 다루기 위한 효율적인 구조를 제시하고, 이를 이용하여 실시간에 물체의 LOD를 효율적으로 생성하는 기법을 제안한다.

## 2. 관련연구

다단계 모델의 생성에 관한 연구는 가상현실 및 컴퓨터 그래픽스 분야에서 광범위하게 연구되어 왔다. 초기에는 물체의 국부적인 기하학적 성질을 고려한 접근방식 [11][12]이 주를 이루었으나, 점차 물체 전체를 단순화시키는 방식 [6]으로 확장되었고, surface simplification 및 surface reconstruction에 적용되었다. 이러한 기존의 연구들은 기본적으로 폴리곤 메쉬를 대상으로 하여 여러 상세도 단계의 폴리곤 메쉬 표현을 생성함으로써 다단계 모델을 구성하는 방식을 취해왔다. 이렇게 구성된 다단계 모델은 실제 내비게이션과 같은 응용분야에서, 임의의 주어진 순간에 실시간 렌더링에 적합한 상세도의 모델을 선택함으로써 실시간 렌더링을 위한 요구조건을 맞추게 된다. 이 때, 모델 생성에 관련된 모든 연산이 렌더링이 실행되기 전에 이미 완료되어 있으므로 실시간에 주는 연산 부담이 적은 장점이 있다. 그러나, 이러한 접근은 실시간에 변화하는 요소를 상세도에 반영하기 어렵다는 단점을 지닌다. 또한, 물체를 여러 부분으로 나누어 각 부분에 대하여 서로 다른 상세도 정도를 선택하기 어렵다는 점이 있다. 이에 반하여 폴리곤 메쉬가 아닌 super-quadric 과 같은 parametric surface를 대상으로 한 접근들이 있었다 [2][4][9]. 이러한 방법들은 parametric surface를 대상으로

함으로써 여러 조건에 대한 실시간 조정의 가능성을 보여주었다. 특히, 계층적 B-spline 이나, wavelet 을 이용한 방법의 경우는 실시간에 다단계 모델 생성을 성취할 수 있는 가능성을 충분히 지니고 있다. 또한 이 방법은 점진적인 전송방식(progressive transmission)에 적합하며, 실시간에 변화하는 파라미터를 대상으로 물체의 각 부분에 대하여 서로 다른 상세도를 적용하기 용이하다는 장점을 지닌다. 한편 Hoppe 는 그의 점진적 메쉬(progressive mesh) 연구에서 parametric surface 가 아닌 폴리곤 메쉬를 대상으로 단순화 과정에 적합한 계층구조를 제시하여 효율적인 실시간 재생성의 가능성을 보였다 [7].

이렇게 실시간 재생성이 가능하도록 모델의 자료 구조를 고안하면, 시점의 이동에 따라 변화하는 파라미터를 손쉽게 반영하여 낮은 상세도의 표현을 효과적으로 생성할 수 있다. 시점이 이동하면서 변화하는 파라미터로는 시점으로부터의 위치 관계, view frustum 과의 관계 및 실루엣과 같은 시점과 물체 표면간의 방향 관계를 들 수 있다. 특히, view frustum 과의 관계 및 실루엣과 같은 요소는 기존의 위치적인 관계에서 시점과의 방향 관계를 대상으로 하므로, 이에 대한 효과적인 고려가 필요하다. 실시간 재생성이 가능한 구조를 사용하여 시점과의 방향관계를 고려하고자 하는 기존의 노력으로는 점진적 메쉬를 이용한 연구[8][13], 폴리곤간의 위치 관계의 계층구조를 이용한 연구[10]들이 있었다. 이러한 연구들의 전반적인 접근 방향은 위치관계를 이용한 기존의 접근 방법을 유지하면서 방향적 요소를 부차적으로 고려한 것으로, 기존의 위치적인 요소를 중심으로 하는 다단계 모델을 생성한다. 이러한 접근은 방향적 요소의 고려라는 측면에서 그 대상이 방향 관계를 주 대상으로 한 것이 아니므로, 실루엣과 같은 요소에 대한 고려가 효과적으로 이루어지지 못하는 단점이 있다.

본 논문에서는 시점과의 방향관계에 대한 요소를 효과적으로 관리하기 위한 계층구조를 제시하고, 이를 사용하여 실루엣을 보존하는 다단계 모델의 생성기법을 제안한다. 본 논문의 3절에서는 제안된 계층구조에 대하여 설명하고, 4절에서는 계층구조가 표현하는 메쉬를 렌더링하기 위한 삼각화 방법에 대하여 기술한다. 5절에서는 이를 바탕으로 한 실시간의 다단계모델

생성 방법을 기술한다.

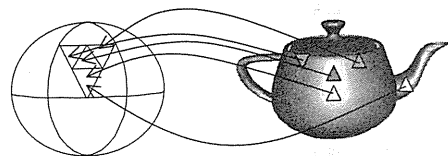
### 3. 계층적 관측구 구조

#### 3.1 개요

시점과 물체간에 성립하는 방향관계는 물체를 구성하는 면의 방향(orientation)과 시점의 방향간의 상대적 관계로 표현된다. 만일, 물체의 각 면의 부분들 간의 방향 관계를 표시해 줄 수 있다면, 시점의 방향이 주어졌을 때 그들 간의 관계를 효과적으로 설정할 수 있을 것이다. 예를 들어, 시점의 방향에 대하여 수직인 부분을 물체의 실루엣이라 정의 하면, 실루엣부분은 실루엣이 아닌 부분보다 더 상세히 표현하는 것이 시각적 측면에서 더 바람직 할 것이다[10][13]. 이를 위해서는 시점의 방향에 대한 관계를 이용하여, 수직인 면에 가까운 방향을 가진 면들을 그 정도에 따른 계층적 그룹으로 나누어 관리할 필요가 있다.

본 논문에서는 폴리곤 메쉬로 표현된 삼차원 물체를 대상으로 한다. 폴리곤 메쉬로 표현된 물체의 경우 각각의 면은 메쉬를 이루는 폴리곤으로 구성된다. 면의 방향은 폴리곤의 방향, 곧 폴리곤의 수직 벡터로 표현된다.

물체를 이루는 각 폴리곤의 방향, 곧, 폴리곤의 수직 벡터들은 가우스 구(Gaussian sphere) 상에 매핑된다. 폴리곤 수직 벡터인 단위 벡터  $(x,y,z)$  는 단위 가우스 구 상의 점  $(x,y,z)$  에 매핑된다. 수직 벡터들 간의 근접성은 가우스 구 상에서의 거리로 표현된다. 따라서, 가우스 구 상에서의 수직 벡터의 근접성에 관한 관계로부터 계층적 구조를 설정하여 시점과의 방향관계에 따른 동적 생성이 가능하게 된다. 그림 2는 오른쪽의 다각형 모델의 각 다각형을 수직 벡터에 따라 가우스 구상에 매핑한 예이다. 그림과 같이 가우스 구상에서는 수직 벡터의 방향이 같은 경우 구상에 인접한 위치에 매핑하게 된다.



[그림 2] 다각형의 가우스 구로의 매핑  
수직 벡터를 매핑한 가우스 구를 시점 방향

으로 배치하고 이것을 물체에 대한 관측구 (view sphere)라 부르기로 하자. 관측구는 각 폴리곤들의 시점과의 방향관계를 표현하는 것으로 각 폴리곤 수직 방향과 시점과의 방향관계에 따라 구성된다. 따라서 관측구의 실루엣 부분에 매핑된 폴리곤들이 실제 물체의 실루엣에 해당하는 면을 이룬다.

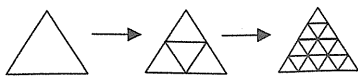
관측구를 기본적인 관측셀(view cell)들의 집합으로 표현하도록 하자. 관측셀은 관측구를 나누는 셀들로, 관측구상에서 설정된 관측셀의 영역에 속하는 수직 벡터를 갖는 폴리곤들을 관리한다. 하나의 관측셀내의 폴리곤들은 하나로 합하여(merge) 관리된다. 단순한 모델은 큰 관측셀, 곧, 적은 개수의 관측셀로서 이루어질 것이다.

본 논문에서는 효과적인 다단계 모델의 생성을 위하여 관측셀들을 상호 겹치지 않는 것으로 보고, 관측셀간의 계층구조를 설정한다. 관측셀간의 계층구조는 분할(subdivision) 관계로 정의된다. 곧, 작은 여러 관측셀을 하나의 관측셀로 합함으로써 한 단계 위의 큰 관측셀을 생성하고, 하나의 관측셀을 여러 개의 작은 셀들로 나누어 좀 더 상세한 표현을 얻는다

### 3.2 계층적 관측구의 생성

삼차원 물체에 대한 계층적 관측구의 생성은 관측구의 생성과정과 관측구의 각 셀에 물체의 폴리곤을 할당하는 과정으로 구성된다.

가장 단순한 형태를 위한 관측셀들을 기본 관측셀이라 하면, 가장 단순한 표현을 위한 관측구는 기본 관측셀들로 구성되며, 기본 관측셀들로부터 연속된 분할을 통하여 좀더 상세한 표현의 관측셀들을 생성한다.

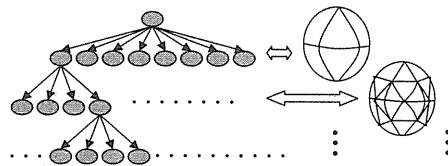


[그림 3] 관측셀의 분할

기본 관측셀들로 이루어진 관측구를 레벨 0의 관측구라 부르고 기본 관측셀을 n번 분할한 관측셀들로 이루어진 관측구를 레벨 n의 관측구라 부른다. 그림 3은 기본 관측셀로부터

차레로 분할되어 상세한 표현의 관측셀을 생성하는 과정을 보인 것이다.

분할된 관측셀은 효율적 관리를 위하여 사진트리(quad tree)로 재구성된다. 그림 3의 관측셀은 분할 되기 전의 관측셀을 부모로 하는 4개씩의 하위 관측셀들을 갖는 사진트리로 표현된다. 이러한 사진트리의 탐색(traverse) 과정을 통하여 주어진 시점 방향에 대한 폴리곤들의 관계를 효과적으로 찾을 수 있다. 실제 구현에서는 레벨 0의 관측구가 8개의 기본 관측셀을 갖도록 하여 사진트리를 구성하였다.



[그림 4] 계층적 관측구의 표현

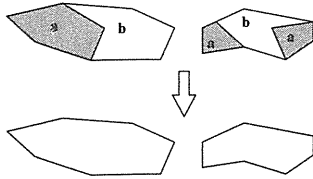
이렇게 구성된 계층적 관측구는 레벨 0의 것으로부터 레벨 n의 가장 상세한 단위의 관측구들의 집합으로 하나의 트리로 표현된다. 그림 4는 이렇게 표현된 트리 구조를 보인다. 왼쪽의 트리에서 레벨 n의 노드들의 집합은 레벨 n의 관측구에 대응되며, 각각의 노드는 관측구에서의 각각의 관측셀에 대응된다. 트리의 계층구조는 분할관계에 의하여, 부모노드가 표현하는 관측셀에서 분할된 관측셀들에 대응하는 노드들이 자식노드로 정의된다.

폴리곤의 생성된 관측구로의 매핑은 가장 상세한 레벨 n의 관측구로부터 이루어진다. 예를들어, 그림 2의 오른쪽에 표시된 폴리곤 모델은 각 폴리곤의 수직 벡터의 방향에 따라 왼쪽의 관측구에 매핑되는 것을 보여주고 있다. 레벨 n의 관측셀은 관측구를 일정한 크기의 관측셀들로 나눈 것으로서, 폴리곤 모델의 각각형들은 수직 벡터의 방향에 따라 속하는 관측셀이 달라진다.

하나의 관측셀에는 이렇게 매핑된 여러 다각형들이 속해있다. 이들 각각은 영역(region) 구조로 관리되어 같은 관측셀에 속하는 여러 다각형들은 상호 인접한 다각형끼리 합하여 적은 개수의 영역들의 집합으로 표현된다. 각 인접한 영역들은 관측구상에서 그 영역들이 속

한 관측셀들이 하나로 합하여 질 때 하나의 영역으로 통합된다.

### 3.3 관측셀의 통합



[그림 5] 영역의 통합

두개의 관측셀들의 통합은 각각의 관측셀들에 포함된 영역들을 합하는 과정으로 이루어진다.

하나의 관측셀은 다수의 영역들을 포함할 수 있으며, 둘 이상의 관측셀들이 하나로 통합될 때, 대상 셀들에 속한 영역 들은 상호 인접한 것들끼리만 합하여 질 수 있다.

그림 5는 영역의 통합 과정을 보인다. 관측셀 a 와 관측셀 b 에 해당하는 영역들이 통합 된다고 하자. 그림에서 빗금으로 표시된 부분이 관측셀 a 에 속하는 영역이고, 투명한 부분이 관측셀 b 에 속한 부분이라 하자. 관측셀 a 는 서로 떨어진 세 개의 영역을 갖고 있으며, 관측셀 b 는 두 개의 영역을 갖고 있음을 보여주고 있다. 셀 a 와 b 가 통합 되면, 각각의 영역 중 서로 인접한 영역들끼리 통합 된다. 화살표 아래 그림은 그 결과로 생성된 두개의 영역을 보인다. 본 논문에서는 영역 통합의 편의를 위하여 영역 표현에 half edge 구조를 사용하였다. 이를 통하여 두 관측셀의 통합은 셀의 각 영역의 외곽의 꼭지점들에 대한 간단한 탐색만으로 이루어진다. 이는 2개 이상의 관측셀을 통합할때도 마찬가지로, 시간 복잡도는 관측셀의 각 영역의 꼭지점 개수를 n 이라 할 때  $O(n)$  이다.

실제 관측셀의 통합은 4 개의 인접한 셀들을 합하는 과정으로 이루어진다. 만일 통합 대상 셀들이 사진트리상에서 동일한 부모 노드를 갖는 셀들이라면, 통합 과정은 4개의 형제(sibling) 노드들을 통합하는 과정이 되며, 합하여진 결과는 부모 노드가 된다. 그렇지 않은 경우는 다음의 두 가지 경우로 나누어 처리한다.

1) 선택된 관측셀의 각 꼭지점의 degree 가 모두 6인 경우

이 경우는 선택된 관측셀 주변의 셀들이 관측셀과 함께 연속적 분할관계(successive subdivision connectivity)를 이룬다. 그러므로, 선택된 관측셀과 그 주변의 세개의 인접한 셀들을 통합하여 하나의 단순화된 관측셀로 표현할 수 있다. 이 과정은 전술된 사진트리 내에서의 통합과정과 같다. 생성된 계층적 관측구는 적은 개수의 기본 관측 셀로부터 연속적 분할 관계를 갖도록 분할 되었으므로, 대부분의 단순화 과정은 이 경우에 포함된다.

2) 선택된 관측셀에 degree 가 6이 아닌 꼭지점이 존재하는 경우

이 경우 선택된 관측셀과 그 주변의 셀들은 연속적 분할관계를 이루지 못한다. 이 경우는 연속적 분할관계를 갖는 가장 가까운 관측셀을 선택한 것으로 대처하여 구성한다.

## 4. 실시간 삼각화

### 4.1 개요

일단 물체의 상세도가 결정되면 해당 모델의 렌더링은 선택된 상세도에 따른 영역 들을 대상으로 하여 수행된다. 즉, 선택된 상세도의 관측셀에 속한 영역에 대하여, 각각의 영역을 주어진 렌더링 시스템에 적합하게 렌더링 하게 된다.

본 논문에서는 렌더링 대상 시스템을 삼각형을 기반으로 하는 것으로 하였다. 따라서 원활한 렌더링을 위하여 각 영역은 삼각형으로 다시 나뉘게 된다.

### 4.2 삼각화 과정

각 영역이 이미 삼각화가 되어 있다고 가정하면, 새로이 삼각화를 하는 과정은 두개 이상의 영역을 하나로 합하는 과정에서 필요하다. 분할 과정에서의 삼각화 결과는 분할된 각 영역에 대하여 이전 통합과정에서 이미 구성되어 있으므로, 필요하지 않다.

새 삼각화가 필요한 경우는 다음의 두 경우이다. 각각의 경우에 대하여 각 영역은 모두 삼각화가 되어 있으며, 영역의 변(edge) 들은 외

곽을 이루는 외곽변과 영역내부의 삼각형들을 구성하는 내부의 변으로 구성된다.

1) 두 영역의 외곽 변(boundary edge)이 합하여지는 경우

합하여지는 두 영역이 모두 삼각화 되어 있으므로, 이 경우는 외곽 변을 두 영역이 합하여진 결과의 하나의 영역 내부의 변으로 대치하면 그 결과는 삼각화된 영역이 된다.

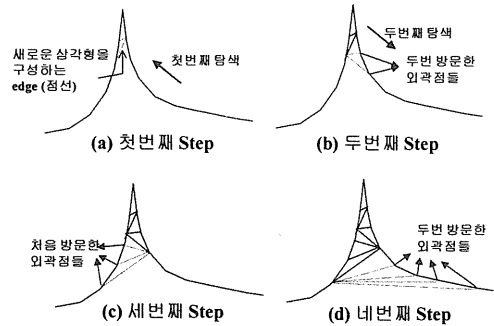
2) 두 영역의 외곽 꼭지점이 합하여 지는 경우

이 경우는 두개의 영역이 합하여지는 과정에서 하나의 꼭지점이 삭제 되는 경우이다. 삭제되는 꼭지점의 주변의 변들, 즉 꼭지점에서 내부 변들로 이어진 점들로 이루어진 변들은 연속된 하나의 영역을 이룬다. 이러한 변들로 이루어지는 영역의 외곽을 꼭지점 외곽이라 부르기로 한다. 기본적인 삼각화 과정은 꼭지점 외곽을 이루는 연속된 세 점에 대하여 새로운 삼각형을 만들어 가는 과정으로 이루어진다. 꼭지점 외곽의 각 연속된 세점에 대하여 새로운 삼각형을 만들 수 있으면, 삼각형을 생성하고 그에 맞게 꼭지점 외곽을 줄이게 된다. 새로운 삼각형이 하나 생성되면, 삼각화가 필요한 꼭지점 외곽은 연속된 세점중 중앙의 한점이 삭제된 형태로 줄어들게 된다.

### 4.3 꼭지점 외곽의 삼각형 생성

꼭지점 외곽의 연속된 세 점으로부터 생성되는 삼각형의 생성 가능성에 대한 검색은 간단히 이루어진다. 꼭지점 외곽을 생성한 점, 곧 영역이 합하여짐으로써 삭제되는 점이 외곽의 세점으로 이루어지는 삼각형에 포함되지 않는 경우, 생성되는 삼각형은 결코 꼭지점 외곽의 어떤 변과도 교차 하지 않는다. 교차하지 않는 삼각형중 중앙의 점이 꼭지점 외곽의 볼록 점(convex point) 라면 그 삼각형은 꼭지점 외곽이 이루는 영역에 포함되므로 생성가능한 삼각형이 된다. 이러한 조건에 의한 경우 실제 삼각형을 생성할수 있음에도 생성하지 못하는 경우는 하나의 꼭지점 외곽에 대하여 최대 두개만 존재하므로, 이러한 조건에 의한 검색으로 삼각형의 생성가능성을 검증하여도 충분하다. 이러한 검색을 통하여 꼭지점 외곽의 볼록 점들에 대하여 삼각형을 만들어 갈 수 있다.

외곽이 볼록 한 경우, 꼭지점 외곽의 전체 점들 중 절반의 점이 이러한 과정으로 삼각형을 이루어 삼각화 대상에서 삭제될 수 있다. 이렇게 되면, 재 삼각화의 시간 복잡도는 꼭지점 외곽의 점들의 개수를  $n$  이라 하면  $O(n)$  이 된다.



[그림 6] 삼각화 과정

이러한 방식의 삼각화 과정에서 최악의 경우는 볼록점들 보다 오목점 (concave point)의 개수가 많은 경우이다. 이 경우를 해결하기 위하여 다음의 과정을 사용한다. 탐색도중 오목점을 만나는 경우, 탐색 방향을 반대로 하여 다음 오목점을 만날때까지 새로운 삼각형을 만들어 나간다. 그림 6은 이 과정을 보인다. 이 과정을 통하면 최대 2번의 탐색으로 절반의 외곽점들을 삼각화 대상에서 삭제할 수 있다. 그러므로 하나의 점을 삭제하는데 필요한 비용은 꼭지점 외곽의 점의 개수  $n$  에 대하여  $O(n)$  이다.

그러므로,  $m$  개의 점을 삭제하는 비용은  $mO(n)$  이 요구된다.

### 5. 실루엣 보존의 LoD 모델 동적생성

계층적 관측구를 이용한 실루엣 보존기법은, 우선 물체의 기본 상세도를 결정 한 후, 실루엣에 해당하는 부분에 대한 상세화와 실루엣에 해당하지 않는 부분에 대한 단순화 과정으로 이루어진다. 물체의 기본 상세도는 물체와 시점간의 거리로부터 상세도를 결정하는 과정으로, 관측구의 상세도를 결정하게 된다. 즉, 시점에서 먼 거리에 있는 물체는 낮은 상세도의 관측구로 표현되고, 그렇지 않은 경우 높은 상세도

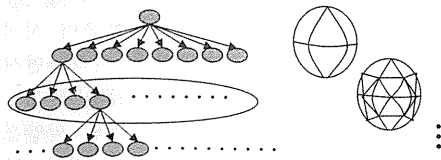
의 관측구로 표현된다. 이렇게 선택된 관측구에 대하여 관측구의 실루엣 부분과 그렇지 않은 부분에 대한 조정과정을 통하여 실루엣 부분을 강조한 표현을 생성하게 된다. 본 절에서는 우선 기본상세도를 결정하는 과정에 대하여 설명하고, 그후 실루엣 보존의 조정과정을 기술한다.

**5.1 물체의 기본상세도 결정**

물체 전체에 대한 상세도를 결정한다. 상세도를 결정하는 조건에는 시점으로부터의 거리, 물체의 중요도, 초점등 물체와 사용자와의 관계에 의하여 결정된다. 결정의 방법으로는 이러한 여러 요소들에 대한 선형 합을 통하여 물체의 상세도를 정하는 방법이 널리 쓰이고 있다 [5]. 이 이슈는 본 논문의 주제가 아님으로 여기서는 간단히 시점과 물체와의 거리를 그 조건으로 사용하기로 한다.

물체가 시점으로부터 멀리 떨어져 있을 때, 그 상세도를 낮게 하여도 실제 렌더링 결과에 큰 차이를 주지 못하며, 반대로 물체가 시점에 대하여 가까이 있는 경우, 그 상세도를 많이 높여 주어야 사용자가 보기에 차이가 없게 된다.

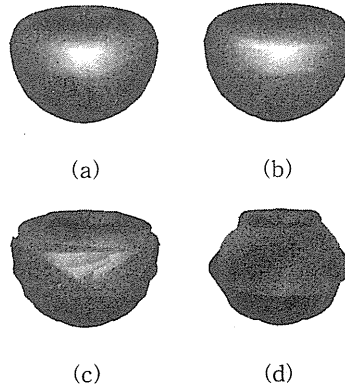
이렇게 결정되는 상세도는 시점과의 거리에 의한 물체 전체의 상세도로서, 계층적 관측구에서의 적절한 레벨을 선택하는 과정이다. 즉, 시점과 거리가 가까운 경우 높은 레벨의 상세한 관측구를, 시점과 거리가 먼 경우 낮은 레벨의 관측구를 선택하게 된다. 이는 사진트리에서의 레벨 n 의 노드들에 해당하는 폴리곤들의 집합으로 표현된다.



[그림 7] 관측구의 레벨 선택

그림 7은 이 과정의 결과를 보인것이다. 오른쪽의 여러 레벨의 관측구들은 왼쪽과 같은 트리 구조로 표현되며, 이로부터 시점과의 거리에 따라 적절한 레벨이 선택된다. 그림 8은 각 거리에서 선택된 상세도로 렌더링 된 결과를

보인다. 각각의 레벨에 대하여 다각형의 개수는 각각 1,704 개, 1,416개, 856개 그리고 레벨 1의 경우 512개이다.



[그림 8] 시점의 방향을 고려하지 않은 상세도 모델의 생성 예

**5.2 실루엣 보존**

실루엣의 보존은 물체에 대한 시점로부터의 방향 관계에 따라 실루엣에 해당하는 부분의 관측셀을 상세화하고, 정면을 바라보고 있는 관측셀을 단순화하는 과정으로 이루어진다. 시점 방향을 향하는 면의 경우, 그 상세도의 정도가 실루엣에 비하여 매우 낮을 경우에도 실제 렌더링 결과에 미치는 영향은 상대적으로 작다. 반대로, 실루엣에 해당하는 면의 경우, 높은 상세도로 유지해주어야 실제에 가까운 렌더링 결과를 보인다.

실루엣 보존을 위한 과정은 다음과 같다. 우선, 선택된 레벨의 관측셀 중 시점 방향을 향하는 관측셀을 선택한다. 이러한 관측셀을 시점 방향 셀이라 하자. 시점 방향 셀은 사진트리의 루트(root)로부터 차례로 탐색하는 과정으로 선택한다. 이렇게 선택된 관측셀의 형제 노드들은 시점을 향한 셀들이며, 이로부터 실루엣에 해당하는 셀들 또한 쉽게 구분할 수 있다.

본 논문에서는 물체가 시점으로부터 충분히 멀리 떨어져 있는 경우를 그 대상으로 한다. 물체가 시점과 가까운 경우는 원래의 높은 상세도로 렌더링 해야 하는 경우이므로, 낮은 상세도에 실루엣에 대한 조정이 필요한 경우는 물체가 시점으로부터 충분히 멀리 떨어진 경우라 볼 수 있다. 이러한 가정하에 물체의 실루엣에 해당하는 면은 관측구의 실루엣에 해당하는 관

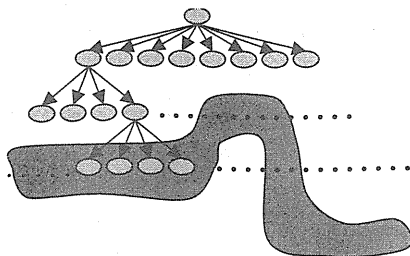
축셀에 포함되게 된다.

```

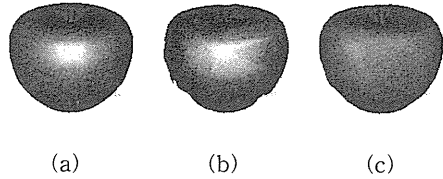
Function traverse(QuadNode q)
if q is view directional cell
    if node level is <preselected level >
        qmerged = merge q
        draw node qmerged
    fi
elseif q is silhouette cell
    if node level is <preselected level + 1 >
        draw node q
    else
        do for each child of q
            traverse(child of q)
        od
    fi
else
    if node level is <preselected level >
        draw node q
    else
        do for each child of q
            traverse(child of q)
        od
    fi
fi
    
```

[그림 9] 사진트리 탐색 루틴

선택된 시점 방향 셀 주변의 셀들은 시점을 향하고 있으므로, 좀더 낮은 상세도로 표현될 수 있다. 또한, 실루엣에 해당하는 셀들은 좀더 높은 상세도로 표현되어야 한다. 이렇게 선택된 시점 방향셀 및 실루엣 셀에 대하여 낮은 상세도로 표현 될 관측셀들에 대한 통합 및 좀더 높은 상세도로 표현될 관측셀에 대한 분할을 수행한다. 이 과정은 사진트리에서의 해당 관측셀에 대한 다음/이전 레벨의 관측셀들의 선택과정 및 주변 셀과의 통합과정으로 이루어진다. 그림 9에서는 개략적인 의사코드를 보인다. 그림 10은 이 과정을 통하여 선택된 관측셀들을 표현한 예이다.



[그림 10] 선택된 관측 셀의 예



[그림 11] 실루엣 보존 다단계 모델 생성의 예

실제 렌더링은 전술된 바와 같이 미리 물체의 상세도 레벨을 결정하고, 사진트리의 탐색을 통하여 이루어진다. 그림 11은 이 과정을 통한 예를 보인다. 그림 11의 (a)는 1,704개의 다각형을 갖는 가장 높은 상세도의 원래 물체이고, (b)는 실루엣 보존의 렌더링을 하기 이전의 단순화된 물체의 표현으로 856개의 다각형으로 표현되었다. (c)는 (b)에 대하여 896개의 다각형으로 표현된 실루엣 보존된 결과를 보인다.



(a)측면에서 본 결과 (b) 다른 시점의 결과

[그림 12] 두개의 다른 시점에서의 실루엣 보존 결과

그림12는 동일한 모델에 대하여 서로 다른 시점에서의 결과를 보인 것이다. 각각 1,357개와 1,478개의 다각형으로 표현된 것으로 (a)에서 단순하게 표현되었던 측면 원통부분이 시점이 바뀔에 따라 (b)의 실루엣으로 나타나면서 다시 상세하게 표현됨을 보인다. 이로부터 실루엣 보존의 방법을 쓴 것이 실제 물체의 외양을 보존하는 측면에서 효과적임을 알 수 있다. 다만, 물체의 하이라이트 부분을 보존하지 못한 결과로 발생한 셰이딩에서의 차이는 문제로 남는다.

## 6. 결론

본 논문에서는 시점과의 방향 요소를 고려하기 위한 구조로 계층적 관측구를 제안하였다.



계층적 관측구를 통하여, 실루엣과 같은 시점과 물체의 각 면간의 방향 관계를 쉽게 다룰 수 있었다. 본 논문에서는 계층적 관측구를 효과적으로 관리하기 위한 사진트리 구조를 제안하고, 이를 바탕으로 실루엣 보존의 다단계 모델의 동적 생성 방법을 제시하였다.

논문에서 제시된 방법은 기본적으로 piecewise-smooth 한 면을 대상으로 한다. 각 면이 smooth 하지 않고, 인접한 면간의 방향차이가 급격하게 계속 변화하는 경우 현재의 방향 관계만을 고려한 단순화 방식으로는 충분한 단순화가 이루어 지지 않는다. 또한 실루엣을 기반으로 한 조정의 대상을 시점으로부터 충분히 멀리 떨어진 물체를 대상으로 하였다. 즉, 실루엣의 선택이 각각의 면과 시점과의 방향관계가 아닌, 물체의 중심과 시점과의 관계로 대처하여 시점에 대하여 가까운 물체의 경우 실루엣이 실제보다 뒤편의 영역으로 인지되는 경우가 있다. 앞으로 smooth 하지 않은 면에 대한 고려와 함께, 시점에서 가까이 있는 물체에 대한 정확한 실루엣을 구하는 기법에 대한 연구가 요구된다. 기본적인 접근 방향은 동적으로 영역의 관측셀과의 할당 및 통합과정이며, 이는 영역 간의 통합이 half edge 구조를 이용한 효율적인 과정으로 이루어지기 때문에 가능하다. Smooth 하지 않은 면에 대한 효과적인 고려를 위하여는 사진트리의 탐색에 있어 연속된 프레임 간의 유사성을 고려한 탐색 방법이 연구되어야 할 것이다.

또한, 물체의 실루엣 뿐만 아니라, 빛의 방향에 따른 실루엣 및 하이라이트 부분을 고려하는 다단계 모델 생성에 관한 연구도 필요하리라 본다.

\* 본 연구의 일부는 자동제어 특화연구센터와 STEP 2000 CG/VR 과제의 지원으로 이루어졌음.

## 참고문헌

- [1] P. Astheimer, P. Poche, "Level-of-detail generation and its application in Virtual Reality", Proceedings of VRST 94, 1994
- [2] M. Eck, T. DeRose, T. Duchamp, H. Hoppe, M. Lounsbery and W. Stuetzle, "Multiresolution Analysis of Arbitrary Meshes", Proceedings of ACM SIGGRAPH 95, 1995
- [3] J. Foley, A. van Dam, S. Feiner and J. Hughes, "Computer Graphics : Principles and Practice", pp.739, Addison-Wesley, 1990
- [4] D. Forsey, D. Wong, "Multiresolution Surface Reconstruction for Hierarchical B-splines", UBC-TR-95-31, 1995
- [5] T.A. Funkhouser, C.H. Sequin, "Adaptive Display Algorithm for Interactive Frame Rates During Visualization of Complex Virtual Environments", Proceedings of ACM SIGGRAPH 93, 1993
- [6] H. Hoppe, T. DeRose, T. Duchamp, J.McDonald and W. Stuetzle, "Mesh Optimization", Proceedings of ACM SIGGRAPH 93, 1993
- [7] H. Hoppe, "Progressive Meshes", Proceedings of ACM SIGGRAPH 96, pp.99-108, 1996
- [8] H. Hoppe, "View-dependent refinement of Progressive Meshes", to be appeared in Proceedings of ACM SIGGRAPH 97, 1997
- [9] E. Koh, "Automatic synthesis of simplified 3D models from detailed data", Phd Thesis, UPENN, 1994
- [10] D. Luebke, C. Erikson, "View-dependent Simplification of Arbitrary Polygonal Environments", to be appeared in Proceedings of ACM SIGGRAPH 97, 1997
- [11] W.J. Schroeder, J.A. Zarge and W.E. Lorensen, "Decimation of Triangle Meshes", Proceedings of ACM SIGGRAPH 92, 1992
- [12] G. Turk, "Re-Tiling Polygonal Surfaces", Proceedings of ACM SIGGRAPH 92, 1992

- [13] J. Xia, A. Varshney, "Dynamic view-dependent simplification for polygonal models", Proceedings of Visualization 96, IEEE, pp.327-334, 1996