

## 경계라인 제약조건을 이용한 깊이 맵 기반 메쉬 모델링

박정철<sup>○</sup> 김승만 이관행  
광주과학기술원 기전공학과

jucpark<sup>○</sup>@gist.ac.kr, sman@gist.ac.kr, lee@kyebek.gist.ac.kr

### Efficient Mesh Modeling using Silhouette Contour Constraint from Depth Map

Jeungchul Park<sup>○</sup> Seung-man Kim Kwan H. Lee  
Dept. Mechatronics, Gwangju Institute of Science and Technology

#### 요 약

본 논문에서는 동적인 실제 객체로부터 얻어진 깊이 맵으로부터 3차원 메쉬 모델을 생성할 때, 영상의 경계 정보를 기반으로 효율적인 비정규 메쉬를 생성하는 기법을 제안한다. 우선 깊이 맵으로부터 소수의 특징점과 경계영역에서의 실루엣 점을 추출한다. Delaunay 삼각화 기법을 적용할 때 경계 외부에 발생하는 불필요한 삼각형들을 효율적으로 제거하기 위해 실루엣점으로 구성된 경계 라인을 제약조건으로 사용한다. 즉 깊이 맵으로부터 경계 영역 정보를 추출하고 이를 기반으로 관심 객체의 비정규 삼각 메쉬에 존재하는 불필요한 외부 삼각형을 제거한다. 최종적으로 생성된 3차원 메쉬에 포함된 형상 노이즈를 제거하기 위해 메쉬 스무딩 기법을 적용하고, 깊이 맵과 동시에 획득된 컬러 영상을 텍스처링하여 3차원 메쉬를 생성한다.

#### 1. 서 론

디지털 실감 방송 기술이 대두되면서 실감나는 콘텐츠의 생성이 중요해 지고 있다. 2차원 비디오와 오디오 스트림이 주류를 이루고 있는 방송 분야에서, 시청자들은 좀 더 실감나는 콘텐츠를 요구하고 있다. 실감 콘텐츠를 사용자가 보고, 듣고, 만져보는 등의 다차원 3차원 상호작용이 가능한 미디어라고 정의할 수 있다. 그 중에서 3차원 입체 영상 생성이나 임의 시점에서의 3차원 재생을 위해서는 배우나 관심 객체가 3차원 메쉬로 모델링되어야 한다.

3차원 점 데이터로부터 3차원 메쉬를 모델링하는 방법과 2차원 깊이 맵으로부터 3차원 메쉬를 생성하는 다양한 연구가 진행되어 왔다[1,2]. 하지만 본 연구에서는 깊이 맵으로부터 추출된 소수의 특징점과 영상의 경계 정보를 이용하여 비정규 삼각 메쉬 모델을 효율적으로 생성할 수 있는 방법을 제안하고자 한다. 2장에서는 깊이 맵으로부터 특징점 추출에 대해서 설명하고, 3장에서는 제약조건을 고려한 삼각 메쉬 생성 및 후처리 방법을 설명한다. 4장에서는 생성된 3차원 메쉬에 스무딩을 적용한 결과를 보이고 5장에서는 결론을 기술한다.

#### 2. 깊이 맵으로부터 특징점 추출

3차원 위치 정보를 8비트 회색 영상으로 표현하는 깊이 맵을 본 연구에서는 적외선 센서의 TOF(Time of Flight) 방식을 이용하는 깊이 카메라인 ZCam<sup>TM</sup>을 이용하여 일련의 깊이 맵을 획득하였다[3].

획득된 깊이 맵은 720x486의 SD급 영상이며, 이로부터 추출된 객체 내에는 47,293개의 픽셀이 존재한다. 이 모든 픽셀이 메쉬를 생성하는데 사용된다면 많은 양의 불필요한 메쉬가 생성될 수 있다. 따라서 적은 수의 의미 있는 점들을 추출하여 데이터를 양을 감소시키는 적응적 샘플링이 필요하다. 적응적 샘플링의 기본 개념은 깊이 변화가 큰 영역에서 많은 점을 추출하고, 변화가 작은 영역에서는 적은 수의 점을 추출하는 것이다.

그림 1(a)은 실제 배우를 측정된 깊이 맵이며, 그림 1(b)는 적응적 샘플링을 통해 획득된 특징점을 보여주고 있다. 경계 영역에서 추출된 특징점들은 삼각 메쉬 생성의 후처리를 위해 사용한다.

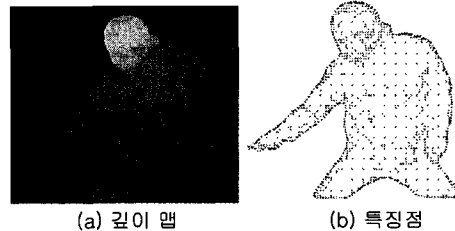


그림 1. 깊이 맵과 추출된 특징점

#### 3. 삼각 메쉬 생성 및 후처리

##### 3.1 Delaunay 삼각화

Delaunay 삼각화 기법은 정렬되지 않은 점 데이터로

부터 비정규 삼각형 망을 생성하는 효율적인 방법이다 [4]. 삼각형 메쉬를 생성하는 과정에서 두 점으로 이루어진 에지(edge)정보와 한 삼각형과 이웃하는 3개의 삼각형을 바로 접근할 수 있는 삼각메쉬의 자료 구조를 알 수 있다. 이는 특정 조건에 따라 삼각형 메쉬를 재구성하는데 용이하게 사용된다.

본 논문에서는 깊이 영상으로부터 추출된 특징점의 X좌표와 Y좌표를 이용하여 2차원 공간에서 2D Delaunay 삼각화 기법을 사용한다. 3차원 점들을 바로 사용하는 것보다 안정적이면서 계산시간도 적게 들기 때문이다. 그림 2는 2차원에서 생성된 삼각메쉬를 보여준다. 기본적으로 Delaunay 삼각화 기법은 컨벡스 헐 형태의 삼각메쉬를 생성하기 때문에 경계 외부의 삼각형들은 제거되어야 한다. 객체의 정확한 형상 모델링을 위해서 이와 같은 삼각형들을 제거한다.

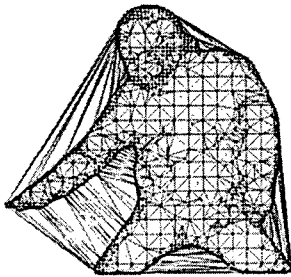
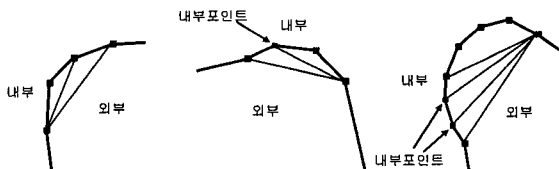


그림 2. 2D Delaunay 삼각화

우선 경계라인 외부에 존재하는 삼각형을 제거하기 위해 외부삼각형들의 유형을 분석하였다. 실루엣 외부에 생성되는 삼각형들은 다음의 3가지 형태로 분류할 수 있다. 그림 3(a)는 세 점 모두 실루엣 점들로 된 삼각형, 그림 3(b)는 실루엣에 있는 두 점과 내부의 한 점으로 된 삼각형, 그림 3(c)는 실루엣에 있는 한 점과 내부의 두 점으로 된 삼각형 형태를 보여주고 있다.



(a) case 1 (b) case 2 (c) case 3

그림 3. 외부 삼각형의 3 가지 유형

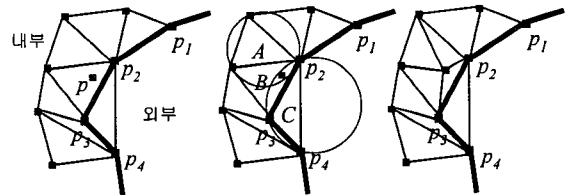
추출되는 특징점의 특성에 따라 세 가지 경우를 다 고려해야 하며, 이를 해결하기 위해서는 다양한 예외 규칙이 필요하다. 하지만 삼각 메쉬를 생성할 때 실루엣 점

으로 이루어진 경계라인을 제약조건으로 사용하면 효율적으로 경계 외부에 존재하는 불필요한 삼각형들을 제거할 수 있다.

### 3.2 경계라인 제약조건을 고려한 삼각 메쉬 생성

깊이 영상으로부터 추출되는 실루엣 점들을 연결하면 형상의 경계라인이 형성된다. 이를 제약조건으로 하여 경계라인이 유지되도록 삼각 메쉬를 생성하면 위에서 언급한 3가지 종류의 삼각형 형태 중에서 첫 번째 경우로만 발생하게 된다. 일반적으로 제약조건을 고려한 방법을 제약조건 Delaunay 삼각화 기법이라고 한다[3]. 본 연구에서는 경계 제약조건을 영상으로부터 추출된 실루엣 점들로 이루어진 에지로 이용하였다. 다음 과정은 제약조건이 고려된 비정규 삼각메쉬를 생성하는 과정을 보여준다.

먼저, 포인트  $p$ 에 속해 있는 삼각형  $B$ 를 찾는다[그림 4(a)]. 삼각형  $B$ 의 인접한 삼각형 중 포인트  $p$ 가 외접원 안에 들어오는 인접 삼각형  $A, B, C$  중 에지  $p_2p_3$ 를 공유하고 있는 삼각형  $C$ 는 제외된다[그림 4(b)]. 마지막으로, 삼각형  $A, B$ 로 구성된 폴리곤에 대해서 다시 삼각형을 생성한다[그림 4(c)].



(a) step 1 (b) step 2 (c) step 3

그림 4. 제약조건 Delaunay 삼각화 생성 과정

### 3.3 실루엣 점을 이용한 외부 삼각형 제거

최종적으로 생성된 비정규 삼각메쉬를 보면, 경계라인 외부의 삼각형들은 모두 실루엣 점들로만 이루어져 있다. 결국 외부의 불필요한 삼각형을 제거하기 위해서는 실루엣 점들로만 이루어진 삼각형을 검색하여 제거하면 된다. 하지만 손가락과 같이 가늘면서 긴 형상의 경우에는 내부에 특징점이 한 점도 추출되지 않는 경우가 발생할 수 있다. 이런 경우에는 객체의 내부에도 실루엣 점들로만 이루어진 삼각형들이 발생할 수 있다. 따라서 외부 삼각형들을 제거하는 과정에서 내부 삼각형을 유지할 수 있는 방법이 필요하다.

순서대로 정렬이 되어 있는 실루엣 점과 두 에지의 외적(cross product)를 이용하여 내·외부를 판별함으로써 내부 삼각형을 유지할 수 있다. 그림 5에 있는  $p_i$ 는 차례로 정렬된 실루엣 점들을 의미하고,  $c_o$ 는 삼각형의 무게중심을 의미한다. 벡터  $p_i c_o$ 와 벡터  $p_i p_{i+1}$ 의 외적의 값

이 양의 값이 나오면 그 삼각형은 객체의 내부에 존재하기 때문에 제거 되지 않고, 반대가 음의 값이 나오면 외부 삼각형으로 판별하여 제거한다. 예를 들면, 그림 5에서 내부 삼각형 A는 양의 방향을 가지므로 유지하고 삼각형 B는 제거한다. 그림 6(a)는 손가락 부분의 내부 삼각형이 유지된 것을 보여주며, 그림 6(b)는 최종적으로 외부 삼각형이 제거된 삼각형 메쉬를 보여주고 있다.

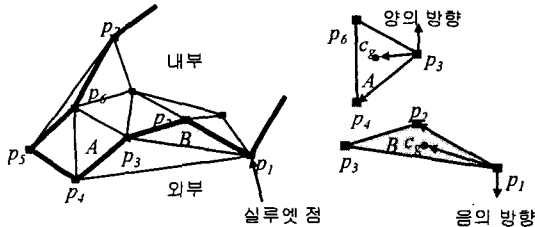
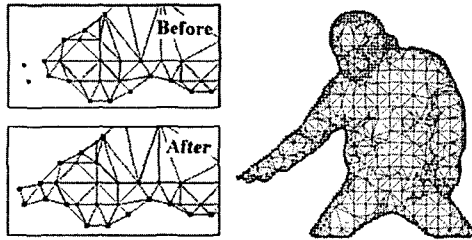


그림 5. 외적(Cross Product)을 이용한 내·외부 삼각형 판별



(a) 내부 삼각형 유지 (b) 2D 메쉬 모델

그림 6. 외부 삼각형이 제거된 2D 메쉬 모델

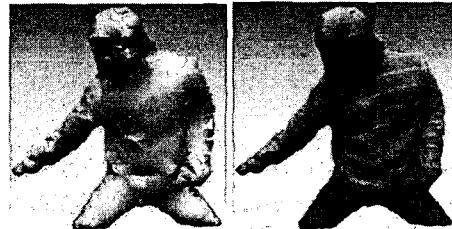
4. 실험 결과

3차원 메쉬는 2차원 메쉬 모델을 3차원으로 투영함으로써 생성할 수 있다. 하지만 특징점들이 여전히 노이즈를 포함하고 있기 때문에 그림 7(a)와 같이 부드럽지 못한 곡면을 가지게 된다. 메쉬 곡면의 평활도를 향상시키기 위해 3차원 가우시안 스무딩을 적용한다. 그림 7(b)는 경계를 유지하면서 스무딩된 3차원 모델을 보여준다. 그림 7의 오른쪽 그림은 깊이 맵과 동시에 획득된 컬러 영상을 텍스처로 사용하여 3차원 메쉬에 맵핑한 결과이다.

5. 결론

본 논문에서는 깊이 맵으로부터 추출된 특징점에 대한 제약조건 delaunay 삼각화 기법을 적용한 후 부드러운 3차원 메쉬 모델을 생성하는 알고리즘을 제안하였다. delaunay 삼각화 기법을 사용하여 삼각망 생성을 고려하였으나 관심 객체의 형상을 유지하는 삼각망을 생성하기에는 부적절하였다. 이 문제를 해결하기 위해서 제약조건 delaunay 삼각화 기법을 적용하였다. 그리고 3차원 메쉬 모델링 후 메쉬 곡면의 평활도를 향상시키기 위해 3차원 가우시안 스무딩을 적용하였고, 최종적으로

텍스처링을 수행하여 관심 객체의 3차원 모델을 생성할 수 있었다. 이렇게 얻어진 3차원 모델은 입체로 재생되거나 햅틱과 같은 촉각 제시 장치를 이용하여 동영상 내에 존재하는 객체를 직접 만져 볼 수도 있다. 결국 방송 분야에서 객체와의 다차원 상호작용을 가능하게 함으로써 향후 실감 방송 기술의 기반 기술로 활용될 수 있다.



(a) 초기 3차원 메쉬



(b) 스무딩된 3차원 메쉬

그림 7. 3차원 메쉬의 스무딩과 텍스처링

감사의 글

본 연구는 광주과학기술원 실감방송 연구센터를 통한 정보통신부 대학 IT 연구센터(ITRC) 사업의 지원과 광주과학기술원 실감콘텐츠 연구센터(ICRC)를 통한 과학기술부 사업의 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

- [1] P. Lindstrom, D.Koller, W. Ribarsky, L.F. Hodges, N. Faust, and G.A. Turner, " Real-time, continuous level of detail rendering of height fields" , SIGGRAPH 96, 109-118, 1996.
- [2] R. Pajarola, M. Sainz and Y. Meng, " DMESH: Fast Depth-Image Meshing and Warping" , International J. of Image and Graphics, vol.4, no., 653-681, 2004.
- [3] <http://www.3dvsystems.com/>
- [4] J. o' rourke, " Computational geometry in C" second edition, pp. 161-164.
- [5] L. P. Chew, "Constrained Delaunay Triangulations," Third annual symposium on Computational geometry, Waterloo, Ontario, Canada, pp.215 - 222, 1987.