

3차원 물체 복원을 위한 모델링 방법

호요성* · 장우석*

*광주과학기술원 정보통신공학부

목 차

- I. 서론
- II. 영상의 획득
- III. 3차원 정보 추정
- IV. 다시점 영상을 이용한 3차원 물체 복원
- V. 결론

I. 서론

3차원 모델링은 3차원 공간 속에 재현될 수 있는 물체의 모델을 만드는 과정을 말한다. 우리는 이러한 과정을 통해 만든 3차원 모델을 이용하여 실세계의 물체를 묘사하거나 혹은 물리적 환경을 모델링하여 가상환경 속에서 물체의 모습을 만들 수 있다. 최근 3차원 모델링은 영화, 애니메이션, 광고 등의 엔터테인먼트 분야와 물리적 실험 시뮬레이션, 건축, 디자인 등의 설계 및 예술의 표현 수단으로 각광을 받고 있다.

일반적으로 숙련된 디자이너가 3D MAX나 MAYA와 같은 컴퓨터 그래픽 도구를 이용하여 수작업으로 3차원 모델을 제작한다. 그림 1은 컴퓨터 그래픽을 이용하여 만든 해군 전함의 3차원 모델을 보여 준다. 그런데 이러한 모델링 방법은 시간이 많이 소요되고, 실세계에 존재하는 물체를 일일이 측정하는 과정을 거치지 않고는 세밀한 모델링이 어렵다. 최근 이러한 단점을 극복하기 위해서 다양한 3차원 복원 방법이 대안으로 제시되었다.

3차원 복원 기술은 목표 물체의 3차원 형상과 표면의 색상을 복원하는 기술이다[1]. 3차원 복원 기술은 의료 영상, 인체 측정, 고전 유물 복원에 많이 활용되며, google에서 도시 지형의 3차원 모델링 기능이 포함된 위성 영상 서비스로 인해 일반인의 관심도 높아졌다. 이러한 기술은 향후 3차원 TV와 3차원 영화에 활용될 것으로 예상된다. 그림 2는 해저 지형을 3차원 영상으로 나타낸 것이다. 최근에는 천안함 사건의 원인을 분석하기 위해서 절단면을 다양한 각도에서 촬영해 이를 3차원 영상으로 만들기도 했다.



그림 1. 해군 전함의 3차원 컴퓨터 그래픽

이 논문에서는 3차원 복원 방법 중에서 기존의 모델링 도구나 3차원 스캐너를 대신해 카메라로부터 직접 얻은 입력 영상만으로 3차원 모델을 재현하는 시스템을 제안한다.

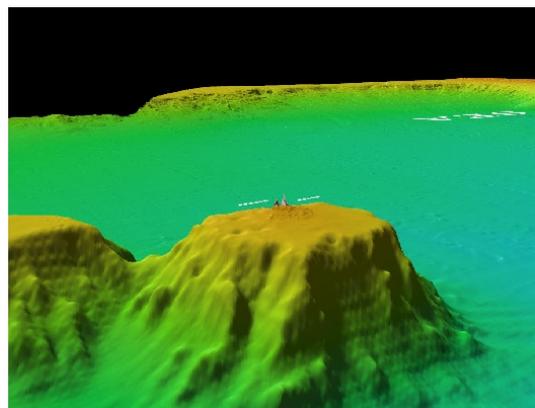


그림 2. 북쪽에서 바라본 독도의 3차원 지형

이 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 3차원 복원을 위해 영상을 획득하는 방법을 소개하고, III장에서는 3차원 정보를 추정하는 방법을 기술한다. IV장에서는 다시점 영상을 이용한 3차원 복원 방법을 설명하고, V장에서는 이 논문을 마무리한다.

II. 영상의 획득

3차원 복원 기술은 영상을 취득하는 방법에 따라 능동형 방식과 수동형 방식으로 나눌 수 있다[2]. 능동형 방식은 고가의 장비를 사용하는 방법으로, 실시간으로 3차원 정보를 획득할 수 있을 뿐만 아니라, 정밀한 깊이 정보를 얻을 수 있다. 그림 3에 보인 레이저 스캐닝 방법, 구조화된 광선 패턴 방법, 깊이 카메라를 이용하는 방법 등이 능동형 방식에 속한다.



그림 3. 능동형 방식의 장치

수동형 방식은 주로 카메라로 직접 획득한 영상만을 이용하므로 3차원 정보의 신뢰도는 능동적인 방법에 비해서 떨어지지만, 데이터 취득이 용이하고 비용이 적게 든다. 그림 4는 수동형 방식을 위한 카메라 배열을 보여준다.



그림 4. 수동형 방식을 위한 영상 획득 시스템

최근 능동형 방식과 수동형 방식의 장점을 융합한 복합형 카메라 방식도 연구되고 있다. 그림 5는 복합형 방식 중의 하나인 다시점 깊이 카메라 시스템을 보여준다[3]. 다시점 깊이 카메라 시스템은 여러 대의 일반 카메라와 다수의 깊이 카메라로 구성된다.



그림 5. 다시점 깊이 카메라 시스템

III. 3차원 정보 추정

일반적으로 두 장의 영상이 있으면 3차원 정보를 추정할 수 있는데, 그림 6은 이 원리를 설명하고 있다. 우선 두 영상에서 일치하는 점을 3차원 공간으로의 역투영하고, 이들의 교차점을 이용하여 물체의 3차원 점을

구하는데, 이와 같은 방법을 삼각화 (triangulation) 방법이라고 한다. 기본적으로 두 영상의 일치점을 찾아야 하는데, 이런 과정은 쉽지 않고 복잡하다. 두 영상 사이의 거리가 너무 짧은 경우는 정확도가 떨어지고, 반대로 거리가 너무 긴 경우는 일치점을 찾기가 어렵다.

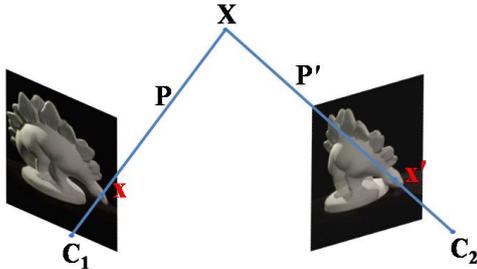


그림 6. 삼각화 방법을 이용한 3차원 정보 추정

3차원 정보를 추정하기 위해서는 기본적으로 2차원 영상과 3차원 공간 사이의 관계를 알아야 한다. 이는 몇 개의 카메라 매개변수로 이루어진 카메라 투영 행렬을 이용하여 얻을 수 있는데, 이를 이용하면 3차원 공간의 한 점을 2차원 영상으로 투영하거나 2차원 영상에서의 한 점을 3차원 공간으로 역투영할 때 필요한 정보를 얻을 수 있다[4]. 이와 같이 카메라 투영 행렬은 3차원 정보를 얻는 작업에 핵심적인 역할을 한다.

앞서 언급했듯이, 한 장면에 대해 두 장의 영상이 있다면 3차원 정보를 어느 정도 추정할 수 있다. 하지만 두 장의 영상으로만 3차원 정보를 정확하게 추정하는 것은 3차원 위치 정보가 부족하기 때문에 매우 어려우며, 모호한 부분이 많이 발생한다.

두 장의 영상으로 3차원 정보를 추정하는 방법을 보완하기 위해서 3장의 영상을 이용하여 3차원 정보를 추정하는 방법도 제안되었다. 우선 두 장의 영상을 선택하고, 두 영상 사이의 일치점을 찾은 후, 일치점 쌍을 이용해서 3차원 점을 추정한다. 이렇게 추정된 3차원 점을 세 번째 영상에 투영하여 예측된 위치 근처가 아닐 경우에는 3차원 점을 제거한다.

3차원 물체의 모델을 전방향으로 생성하기 위해서는 물체의 전방향에 대한 여러 장의 영상이 있어야 한다. 이러한 여러 장의 영상을 다시점 영상이라고 하는데, 여러 영상들 사이의 기하학적인 관계를 이용해야 하기 때문에 두 장을 이용하는 스테레오 영상을 이용하는 경우보다 훨씬 더 복잡하다. 스테레오 영상은 대

부분의 장면이 두 영상에서 다 보이지만, 다시점의 경우에는 대부분의 장면 요소가 모든 영상에서 보이지 않는다. 따라서 다시점의 경우에는 가시성을 추론하는 일이 매우 중요하다.

IV. 다시점 영상을 이용한 3차원 물체 복원

다시점 영상을 이용한 3차원 물체 복원은 여러 장의 영상의 기하학 정보를 이용해 2차원 물체를 3차원으로 복원하는 기술이다. 3차원 모델을 복원하기 위해서는 우선 카메라 교정 작업이 필요하다. 여기서 카메라 교정이란 카메라 투영 행렬을 구해서 카메라로부터 얻어진 3차원 영상과 3차원 공간 사이의 정보를 취득하는 과정을 말한다[5].

이 장에서는 다시점 영상으로부터 3차원 물체의 모양을 복원하는 방법을 살펴보고, 이 개념을 이용하여 3차원 물체의 모양을 만들고 색상 값까지 사소한 완성된 3차원 모델을 만드는 방법을 설명한다.

4.1. 실루엣 기반 복원 (shape from silhouette)

실루엣 기반 3차원 물체 복원은 입력 영상으로부터 물체의 실루엣 영상을 획득하여 이용한다. 신뢰성이 높은 3차원 물체를 복원하기 위해서는 물체의 정확한 실루엣 정보가 필요하다. 실루엣 영상은 통계적 모델과 최적화 알고리즘을 사용하여 추출할 수 있다[6]. 이렇게 획득된 실루엣 영상으로부터 시각체 (visual hull)를 만들어 3차원 물체를 복원하는데, 여기서 시각체란 3차원 물체를 근사한 것이다 [7].

시각체는 다음과 같은 과정에 따라 얻을 수 있다. 먼저 실루엣 영상에서 실루엣의 윤곽선을 추출한 후, 카메라 교정 정보를 사용하여 윤곽선을 3차원 공간으로 역투영한다. 이렇게 역투영된 실루엣 윤곽선으로 시각원뿔 (visual cone)을 만들고, 시각원뿔들의 교차가 시각체를 생성한다 [7].

비록 시각체가 실제 물체의 좋은 근사치가 될 지라도 시각체만 가지고 물체의 오목한 부분을 포함하여 자세한 부분까지 정확하게 복원하기 어렵다. 이러한 단점에도 불구하고, 시각체와 같은 실루엣 기반 복원 방법은 구현이 간단하고 실행 시간이 짧아서 다수의 2

차원 영상으로부터 3차원 물체의 모양을 복원하는데 많이 사용된다. 최근에는 GPU를 사용하여 병렬로 처리하여 실시간으로 수행하는 방법도 제안되었다[8].

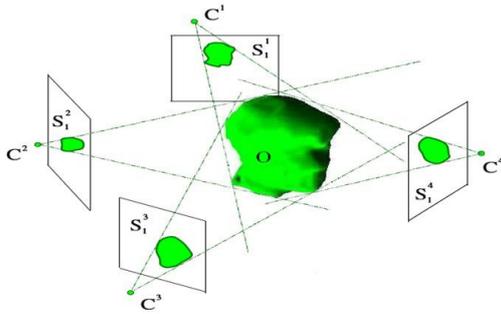


그림 7. 실루엣 기반 복원

4.2. 복셀 컬러링 (voxel coloring)

복셀 컬러링 방법은 3차원 공간의 한 점을 바라보는 서로 다른 영상에서의 색상 일치성에 기초를 둔다. 시야가 가려지지 않은 공간상의 어떤 동일한 지점에 대해서 서로 다른 영상이 같은 색상으로 투영된다면, 그 지점은 실제로 존재하는 것으로 간주된다. 반면에 시야가 가려지지 않은 동일한 지점에 대해서 서로 다른 영상에 다른 색상으로 투영된다면 그 지점은 존재하지 않는 것으로 간주된다.

그림 8은 어떻게 색상 일치성이 물체의 표면에 있는 점인지 아닌지를 구별하는 지를 보여준다. 그림 8의 왼쪽 그림에서 두 시점은 동일한 지점에서의 동일한 색상을 보고 있으므로 3차원 지점은 물체의 표면 위의 점이라고 추정한다. 그러나 오른쪽 그림을 보면 두 시점은 동일한 지점에서의 서로 다른 색상을 보고 있으므로 이 지점은 3차원 물체의 표면 위의 점이 아니라고 추정한다.

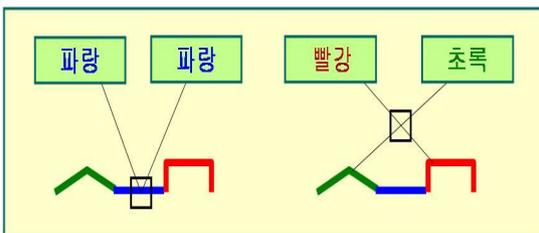


그림 8. 색상 일치성

색상 일치성을 이용할 때에는 확산면을 바라보는 방향에 관계없이 모든 방향으로의 휘도가 동일하다는 완전 확산면 (Lambertian surface)의 성질을 갖는다고 가정한다. 하지만 실제로는 조명 조건을 고려해야 할 필요가 있다. 또한 특정 지점에 대한 시선의 가려짐을 알 수 있어야 하므로 이에 대한 방법도 필요하다.

복셀은 2차원 영상 데이터의 화소와 비슷한 의미로 3차원 공간에서의 한 점을 정의하는 그래픽 정보의 단위이다. 그림 9에서와 같이 3차원 공간을 정육면체의 단위로 나누고, 하나의 정육면체가 복셀이 된다. 복셀 컬러링을 수행하기 위해서, 그림 9에 보인 것처럼, 하나의 복셀을 선택하고, 이 복셀을 각 영상에 투영한다. 투영된 2차원 영상에서의 색상의 일관성이 있다면 복셀에 색상을 사상하는데, 이와 같은 과정을 복셀 컬러링이라고 말한다[9].

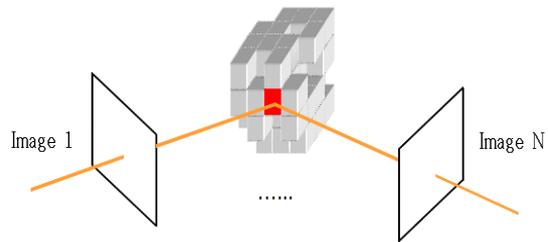


그림 9. 복셀 컬러링을 위한 복셀 투영

복셀 컬러링을 수행하기 위해서는 가시성 문제를 잘 고려해야 하는데, 이는 어떤 영상에서 특정 복셀이 보이는지를 판단하는 것이다. 가시성 문제를 해결하기 위해서 계층별로 장면을 탐색할 순서를 매기고, 이 순서에 따라 참조 영상에서 가까운 곳에서부터 먼 곳으로 처리한다[10].

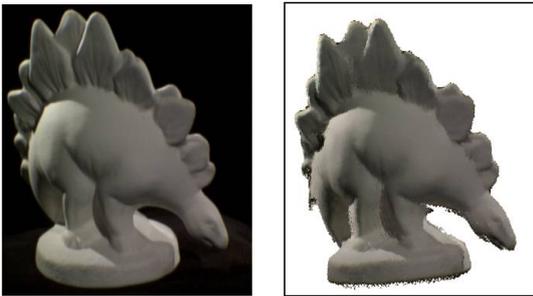
4.3. 3차원 모델 생성

3차원 모델을 완성하기 위해서는 그 물체의 3차원 기하학 정보를 이용해 3차원 물체의 모양을 복원하는 작업 외에도 3차원 모델의 색상 정보를 얻는 작업도 필요하다. 우선 실루엣 기반 복원 방법으로 시각체를 만들어 초기의 3차원 물체 윤곽을 생성한다. 여기까지 만들어진 물체의 윤곽은 실제 물체를 포함하지만 물체의 정확한 윤곽은 아니므로, 물체 윤곽의 정확도를 높

이기 위해서 물체를 다듬는 과정이 필요하다.

색상 일치성을 이용해서 잘못 얻어진 물체의 3차원 초기 모델을 조금씩 깎아 나가면서 점점 실제 모델과 비슷하게 물체를 다듬어 나간다. 3차원 물체의 모델을 만들 때 물체의 표면뿐만 아니라 내부의 점까지도 포함하면 복잡도가 높고 정확도도 떨어진다. 따라서 3차원 모델을 표현할 때에 가시성 검사를 통해서 물체의 표면만 표현하는 것이 이득이 된다[11]. 가시성 검사는 나중에 색상 값을 사상할 때에도 도움이 된다.

이와 같이 물체 다듬기 과정과 가시성 검사를 하여 물체의 형태를 완성한 후에는 색상 값을 사상하여 3차원 모델을 완성한다. 색상 값을 사상하려는 3차원 점에 가시성이 있는 영상들을 찾아서 이들 화소 값들의 가중치를 통해 혼합하여 얻는다. 그림 10은 입력 영상으로 쓰인 원본 영상과 3차원 복원의 모든 과정을 거쳐 얻은 3차원 모델을 보인 것이다. 3차원 모델은 원본 영상이 획득된 각도에서 바라보았을 때의 형상이다.



(a) 원본 영상

(b) 복원된 모델

그림 10. 3차원 물체 복원 결과

V. 결론

3차원 물체 복원 기술은 컴퓨터 그래픽스에 기반하여 3차원 모델을 만드는 유용한 기술이며, 3차원 방송, 영화, 의료 영상, 문화재 복원 등 여러 응용 분야에 사용될 수 있어 최근 많은 관심을 받고 있다. 이 논문에서는 3차원 복원을 위한 영상 획득에서부터 3차원 정보를 추정하는 방법과 3차원 모델을 생성하는 방법을 소개했다. 특히, 수동적 방법인 다시점 영상을 이용한 방법은 특별한 장비가 필요하지 않으므로 비용이 적게

드는 장점이 있다. 다시점 영상을 이용한 3차원 물체 복원 방법으로는 실루엣 기반 복원 방법과 복셀 컬러링 방법이 있으며, 이들은 여러 응용 분야에 많이 사용되고 있다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2010-(C1090-1011-0003)).

참고문헌

- [1] M. Grum and A.G. Bor, "Multiple Image Disparity Correction for 3-D Scene Representation," IEEE International Conference on Image Processing, pp. 209-212, Oct. 2008.
- [2] D.G. Lowe, "Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints," International Journal of Computer Vision, vol. 60, no. 2, pp. 91-110, Jan. 2004.
- [3] Y.S. Kang, E.K. Lee, and Y.S. Ho, "Multi-Depth Camera System for 3D Video Generation," International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT), pp. 44(1-6), Jan. 2010.
- [4] Y. Lu, J. Zhang, Q. Wu, and Z. Li, "A Survey of Motion-Parallax-Based 3-D Reconstruction Algorithm," IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics-Part C: Applications and Reviews, vol. 34, no. 4, pp. 532-548, Dec. 2004.
- [5] J. M. Lavest, M. Viala, and M. Dhome, "Do We Really Need an Accurate Calibration Pattern to Achieve a Reliable Camera Calibration?," European Conference on Computer Vision, vol. 1, pp. 158-174, June 1998.
- [6] Y. Hwang, J. Kim, and I. Kweon, "Silhouette Extraction for Visual Hull Reconstruction," IAPR conference on Machine Vision Applications, pp. 39-42, May 2005.

[7] A. Laurentini, "The Visual Hull Concept for Silhouette-Based Image Understanding," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Interlligence, vol. 15, no. 2, pp. 150-162, Feb. 1994.

[8] A. Ladikos, S. Benhimane, and N. Navab, "Efficient Visual Hull Computation for Real-Time 3-D Reconstruction using CUDA," IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.1-8, June 2008.

[9] S. Seitz and C. Dyer, "Photorealistic Scene Reconstruction by Voxel Coloring," IEEE Computer Society Conference on Couputer Vision and Pattern Recognition, pp.1067-1073, June 1997.

[10] W. Culbertson and T. Malzbender, "Generalized Voxel Coloring," Vision Algorithms: Theory and Practice, vol. 1883, pp.67-74, Sept. 1999.

[11] W. Jang, Y. Ho, "3-D Object Reconstruction from Multiple 2-D Images," 3D Research, vol. 1, paper no.2, pp. 02: 1-5, June 2010.

저자소개



장 우 석 (Woo-Seok Jang)

2001년~2007년 전남대학교 전자정보통신공학부 학사
2007년~2009년 광주과학기술원 정보통신공학과 석사

2009년~현재 광주과학기술원 정보기전공학부 정보통신공학과 박사과정
※관심분야 : 디지털 영상처리, 컴퓨터 비전, 영상신호 처리 및 압축



호 요 성 (Yo-Sung Ho)

1977년~1981년 서울대학교 전자공학과 학사
1981년~1983년 서울대학교 전자공학과 석사

1983년~1995년 한국전자통신연구소 선임연구원
1985년~1989년 University of California, 전기전산공학과 박사
1990년~1993년 미국 필립스 연구소 선임연구원
1995년~현재 광주과학기술원 정보통신공학부 교수
2003년~현재 광주과학기술원 실감방송연구센터 센터장

※관심분야 : 디지털 영상신호 처리 및 압축, 디지털 TV, MPEG 표준, 3차원 TV, 실감방송