볼륨카빙 기법을 활용한 평면 이미지의 3 차원 형상 복원 방법 연구

하태윤*, 김한별*, 정귀영*, 김지인*, 이상은**, 고석주*
*경북대학교 컴퓨터학부
**임베디드 소프트웨어 연구센터
e-mail : chickenoup@naver.com

A Study on 3D reconstruction of 2D image by using Volume Carving Method

Tae-Yoon Ha*, Han-Byeol Kim*, Gui-Young Jung*, Ji-In Kim*, Sang-Eun Lee**, Seok-Joo Koh*
*Dept. of Computer Science and Engineering, Kyung-pook National University
**Center for Embedded Software Technology (CEST)

요 약

본 논문에서는 3 차원 이미지 시장은 현재 영상 산업, 게임 산업 등 그래픽 분야에서 상당히 주목 받고 있다. 인력과 시간을 낭비하지 않는 3 차원 복원 이론 중 볼륨 카빙의 새로운 기법을 제안하여, 그 성능을 분석하고 다른 여러 이론과의 차이점과 시장 접목 가능성, 효율성을 고찰해 보고자 한다.

1. 서론

3 차원 복원은 현실의 물체가 가상의 3 차원 공간 속에 재현될 수 있도록 물체를 디지털화 하는 기술이다. 최근 3 차원 모델은 영화, 애니매이션, 광고 등의 엔터테인먼트 분야와 제품 설계 및 검사, 역공학, 물리적 실험 시뮬레이션, 건축, 디자인 등에 다방면으로 이용되고 있다 [1].

3 차원 복원 기술에는 복원 대상에 측정 센서가 맞닿아 데이터를 획득하는 접촉식, 물체에서 반사하거나 투과되는 에너지 양을 측정하여 3 차원 형상을 복원하는 비접촉식 방식이 있다. 비접촉식 방식 중에서 미리 정의된 에너지를 물체에 투사하여 그 변화량을 측정하는 능동 방식과 여러 위치에서 물체를 촬영한 영상의 명암, 시차 등을 이용하는 수동 방식이 있는데, 본 논문에서 다루는 볼륨 카빙기법은 그 중 수동 방식에 속한다. 수동 방식은 능동 방식에 비해 다소 정밀도가 떨어질 수 있으나 장비가 간편하고 입력 영상으로부터 직접 텍스처를 획득할 수 있다 [2].

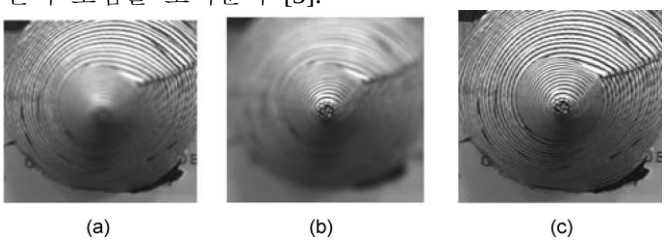
본 논문에서는 다양한 각도에서 촬영한 2 차원 이미지들을 가상의 3 차원 공간 속의 덩어리에 투영하여 원하는 물체의 3 차원 형상을 복원하는 볼륨 카빙 기법을 제안하고 그에 대한 알고리즘과 실험을 통한 성능 분석에 대해 기술한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2 장은 기존의 3 차원 형상 복원 기법에 대한 소개를 하고, 3 장은 제안하는 새로운 볼륨 카빙 기법에 대해 언급한다. 4 장에서는 성능 분석과 다른 이론과의 차이점을 분석하고 마지막으로 5 장은 결론으로 구성된다.

2. 기존의 3 차원 형상 복원 기법 소개

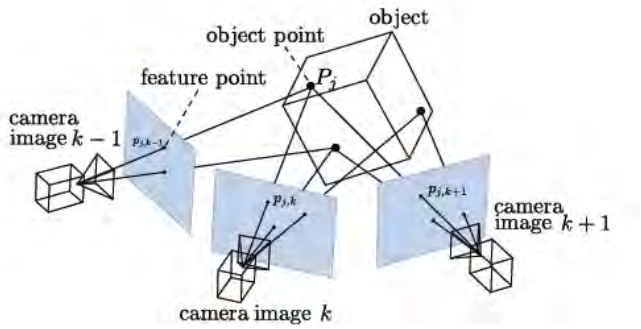
3 차원 복원 기술에는 다양한 방식이 있지만 그 중에서도 본 논문에서는 2 차원 이미지를 사용하여 3 차원 형상을 복원하는 기법을 연구한다. 볼륨 카빙 기법과 같이 수동 방식 중에서도 사용하는 2 차원 이미지의 특징에 따라 다양한 기법을 사용할 수 있는데 이에 대하여 간단하게 소개하려고 한다.

첫째, Shape from Focus 방식은 물체의 표면의 정보를 얻기 위해 카메라의 초점 거리를 이용한다. 카메라가 물체 표면과 특정한 거리를 유지할 때만 초점이 맞는 특성을 이용한다. 그림 1 은 카메라와 대상 물체 간의 초점을 보여준다 [3].



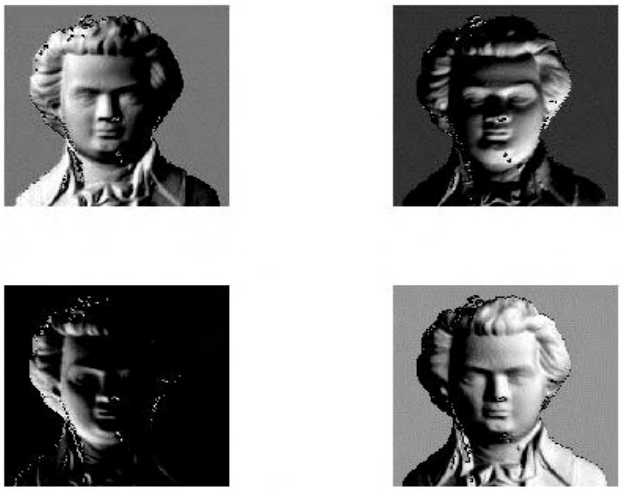
(그림 1) 카메라와 대상 물체 간의 거리에 따른 초점

둘째, Structure from motion 방식은 복원 대상 물체를 여러 위치에서 촬영하여 식별이 용이한 코너와 같은 특징 점들을 뽑아서 매칭한다. 이를 통하여 각 2 차원 이미지 간의 대응관계를 알아낼 수 있으며, 이를 바탕으로 물체의 3 차원 형상을 복원한다. 그림 2 는 다양한 위치에서 촬영한 이미지를 매칭하는 Structure form Motion 기법을 보여준다 [4].



(그림 2) 다양한 위치에서 촬영한 이미지를 매칭

마지막으로, Shape from Shading 방식은 대창 물체 표면의 밝기 변화, 컬러 변화를 통해서 3 차원 형상을 계산한다. 광원의 위치나 표면이 형태에 따라 촬영된 이미지의 밝기가 달라지는 특성을 이용한다. 그림 3 은 광원의 위치에 따른 이미지의 밝기 변화를 보여준다 [5].

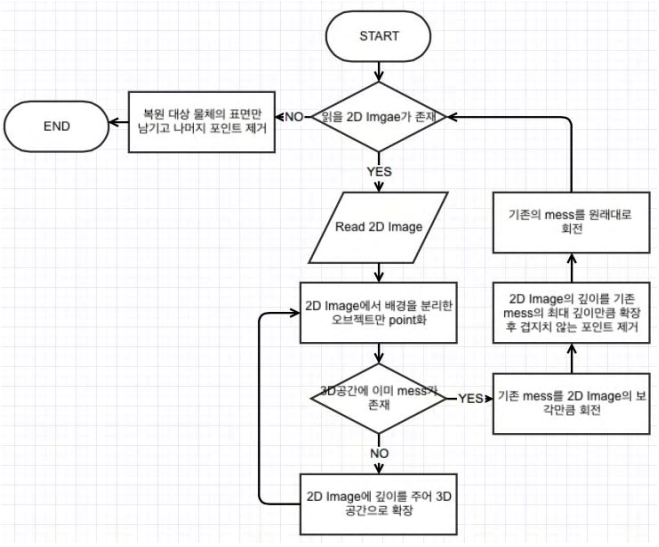


(그림 3) 광원의 위치에 따른 이미지의 밝기 변화

3. 제안하는 볼륨 카빙 기법

기존의 볼륨 카빙 기법은 다각도에서 3 차원 복원 대상을 촬영한 2 차원 이미지들을 복셀로 나타낸다. 볼륨 카빙 기법을 사용하는 3 차원 공간에 복원 대상 물체보다 큰 볼륨이 존재한다고 가정한다. 2 차원 이미지들은 초기 볼륨에 투영하여 이미지의 실루엣에 해당하지 않는 복셀은 볼륨에서 제외하며, 이 때 이 복셀을 제외하는 과정을 카빙이라 한다.

제안하는 볼륨 카빙을 통한 복원 절차는 광학 오차를 고려하지 않으며, 목표 오브젝트와 배경을 구분할 수 있다고 가정한 상태에서 진행된다. 그림 4 는 제안하는 볼륨 카빙 기법의 프로세싱 알고리즘도이다. 2차원 이미지의 이름과 각도를 입력 데이터로 입력하면, 2차원 이미지를 읽어와 이미지의 개수만큼 카빙을 실행한다. 3차원 공간에 2차원 이미지를 투영하기 앞서 입체가 될 오브젝트의 윤곽선 안 쪽의 공간을 모두 유효한 점으로 인식하게 한다.

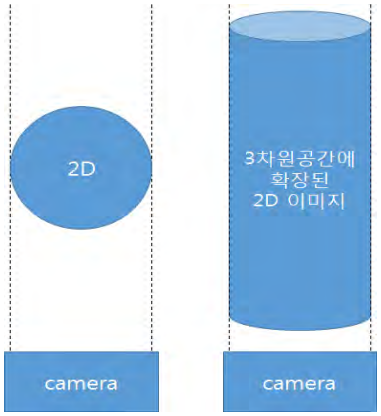


(그림 4) 볼륨 카빙 기법의 동작 방식

2 차원 이미지에서 유효한 점을 추출하기 위해 크로마키 기법과 같이 단색의 배경에서 복원 대상의 촬영이 이루어졌다고 가정할 때, 배경만을 찍은 2 차원 이미지를 분석하여 RGV 최소값과 최대값을 얻는다. 이 때, 사용자로부터 오차범위를 입력 받는다. 오차범위가 클수록 제외되는 픽셀이 많아진다.

배경에서 얻은 RGB 최소값과 최대값을 2 차원 이미지 각 픽셀의 RGV 값과 비교하여 범위 내에 있을 경우 배경으로 간주하고 제거한다. 그 결과 2 차원 이미지에서 배경은 제거되고 물체가 있는 위치의 픽셀만 남게 된다. 남은 픽셀을 유효한 점으로 인식한다.

다음은 2D 이미지의 볼륨화이다. 맵핑된 2D 이미지는 그림 5 와 같이 확장되어 깎아 낼 볼륨이 된다.



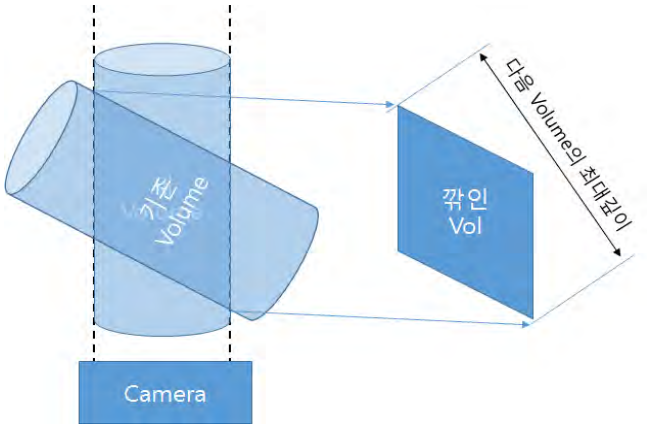
(그림 5) 일정한 깊이만큼 3 차원 공간에 확장된 2D 이미지

제안하는 볼륨 카빙 기법은 가장 첫 번째로 분석되는 2D 이미지의 유효한 점들을 볼륨으로 확장하는 것으로부터 시작된다. x, y, z 좌표로 이루어진 3 차원 공간에 원점을 기준으로 이미지가 촬영된 각도로 유

효한 점들을 맵핑한다. 볼륨이 있을 수 있는 공간은 촬영된 각도의 시점을 기준으로 유효한 점들의 앞 뒤(본 논문에서는 이를 깊이라 칭한다)로의 모든 공간이다. 이 때 깊이는 입력 받은 2 차원 이미지의 높이와 너비 중 더 큰 값으로 가정한다.

볼륨이 생성된 후에 분석되는 입력 데이터는 위와 같은 과정으로 확장된 상태에서 볼륨 카빙을 시작한다. 카메라는 여전히 x, y, z 축이 회전되지 않은 상태로 놓여있다. 기존의 덩어리와 새로 만들어진 확장된 덩어리를 각각 복셀의 집합으로 보고 복셀들의 좌표를 모두 비교하여 교집합만 남겨두는 것이 제안하는 볼륨 카빙 컴퓨팅 기법이다.

그림 6 에서는 교집합만 남겨두고 볼륨을 깎아내는 방법을 표현하였다.



(그림 6) 볼륨 카빙의 결과와 다음 사이클의 최대 깊이

이 때, 기존 볼륨을 기준으로 새 볼륨의 모든 복셀을 하나하나 비교하여 같은 좌표에 있는 복셀이 존재할 경우 기존 복셀을 남겨두는 식으로 덩어리를 깎아내는 표현을 컴퓨팅 하였다.

제안한 볼륨 카빙의 기법은 복셀의 수가 많아지면 많아질수록 속도가 느려진다. 기존의 복셀과 같은 좌표를 가진 복셀이 새 볼륨에 존재하는지를 비교하여 깎아낼지 남길 지를 결정하므로 $O(N*M)$의 성능을 가진다. 단 여기서 N은 기존의 볼륨의 복셀의 개수를 나타내고, M 은 새로운 볼륨의 복셀의 개수를 나타낸다.

존재 여부를 비교하는 프로세싱은 복셀의 좌표가 x, y, z 순으로 정렬이 돼 있어서 이진탐색으로 속도를 향상 시킬 수 있다. 이 경우 성능은 $O(N*\log(M))$이 된다.

비교 대상 복셀의 수를 줄이는 방법으로 남아있는 덩어리 중 원점에서 가장 먼 복셀과의 거리*2 이상의 복셀이 존재할 수 없으므로 이 값을 깊이로 하여 새 볼륨을 제한하였다.

위의 과정으로 수 많은 복셀로 이루어진 덩어리가 생성되었을 것이다. 하지만 오브젝트의 부피를 재현하는 작업에는 표면의 형상만 필요로 하기 때문에 표면을 제외한 내부의 점들을 제거해준다. 각 점의 상하좌우전후에 다른 점이 존재하지 않으면 그것은 표면을 나타내는 데에 필요한 점이기 때문에 남겨두고, 그 외의 점은 모두 제거하여 복원 대상 물체의 표면만 점군으로 나타낸다.

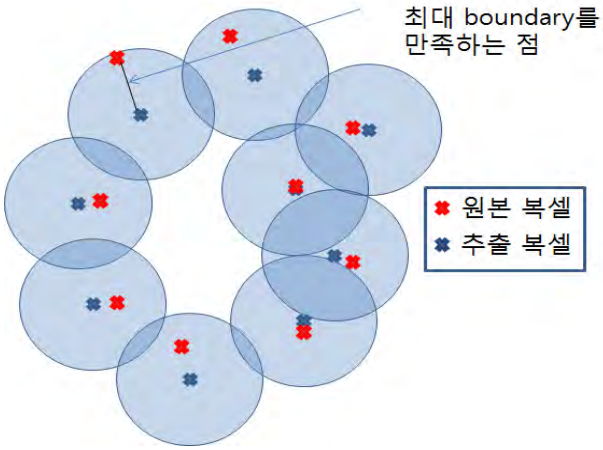
추출된 복셀의 좌표는 x, y, z 좌표 순으로 오름차순 정렬되어 기존 3D 파일 포맷으로 변환할 수 있다.

4. 구현 결과 및 분석

원본 오브젝트와 제안한 방법으로 추출해 낸 오브젝트의 일치도 비교는 복셀의 위치가 어느 정도 비슷한지에 대한 척도를 기준으로 하였다.

일치도 비교를 위해 원본 오브젝트와 추출된 오브젝트의 중심점을 맞추고 추출된 오브젝트의 복셀 좌표는 정수계로 계산되었기 때문에 계산의 편의를 위해 원본 오브젝트를 추출된 오브젝트의 크기를 기준으로 정규화 하였다. 정규화된 원본 오브젝트는 실수 좌표계를 가진다.

추출된 오브젝트의 각각의 복셀이 원본 오브젝트의 모든 복셀을 포함할 수 있을 때의 포함 바운더리(x, y, z 좌표의 거리)를 일치하는 정도로 준다. 이 때 포함되는 공간은 정육면체 형태로 생성된다.

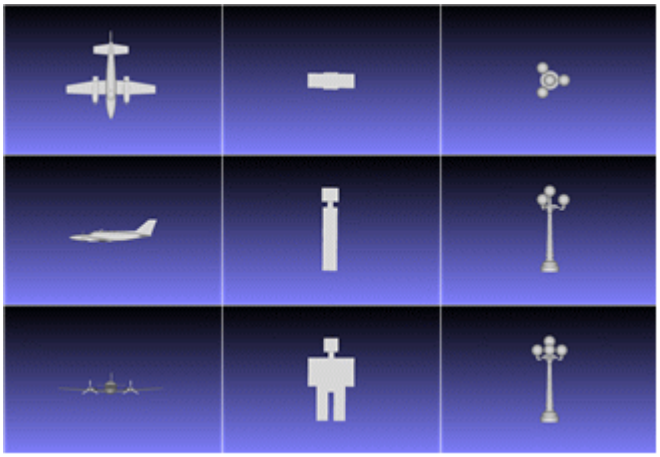


(그림 7) 일치도 비교 방법

그림 7 은 2 차원 정육면체가 아닌 원으로 방법을 표현한 것이다. 이 때 원의 반지름이 일치도 값이 된다. 3 차원 상에서는 정육면체 한 변의 길이의 반을 일치도 값으로 정하였다.

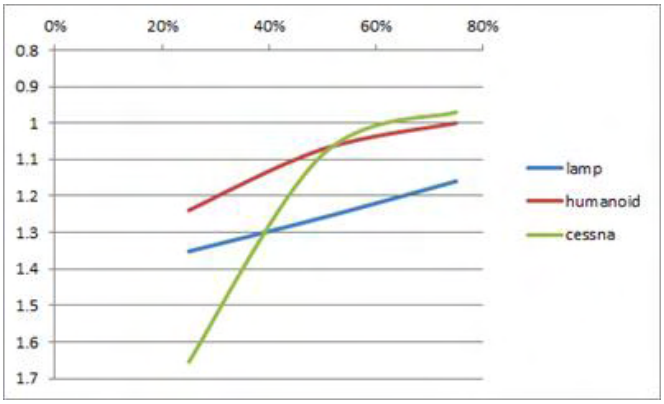
추출된 오브젝트는 원본 오브젝트보다 복셀의 수가 많다. 원본 오브젝트는 특징점에만 복셀이 존재하는 반면 추출된 오브젝트는 겉표면을 이루고 있는 모든 공간에 복셀이 존재한다. 따라서, 추출된 오브젝트를 기준으로 복셀을 비교하여 원본 오브젝트의 복셀을 포함하는지를 비교하였다.

그림 8 은 카빙을 하기 위한 원본 오브젝트를 보여준다. 왼쪽부터 Cessna[6], humanoid, lamp 이다.



(그림 8) 원본 오브젝트

본 논문에서는 일치도를 알아보기 위해 각 원본 오브젝트에 대해 복셀의 수를 달리하고, 카빙 각도를 조절하여 실험을 수행하였다. 그림 9 는 각 오브젝트에 대해서 추출 복셀을 달리하였을 경우의 일치도를 보여준다.

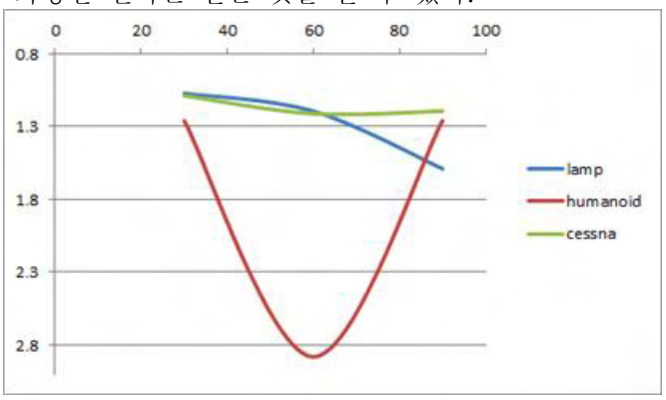


(그림 9) 추출 복셀의 수에 따른 일치도

그림 9 에서 x 축은 복셀의 수에 대한 백분율을 나타내고 y 축은 그에 따른 일치도를 나타낸다. 실험 결과 같은 카빙 각도를 가졌을 경우 복셀의 수를 늘리면 일치도가 증가하는 것을 알 수 있다. 그리고 Cessna 오브젝트의 경우 그 차이가 확연히 나타나는 것을 알 수 있다. 하지만 이 경우도 50% 이상의 복셀을 추출할 경우 급격한 변화를 보이지는 않음을 알 수 있다. 이를 통해 유추하면 복잡한 오브젝트 일수록 일치도에 대한 편차가 크지만 어느 정도 선을 넘어설 경우 그 차이가 크지 않음을 알 수 있다.

그림 10 에서는 각 오브젝트에 대해서 카빙 각도를 30, 60, 90 도로 달리하였을 경우의 일치도를 보여준다.

그림 10 에서 x 축은 카빙 각도를 y 축은 일치도를 나타낸다. 실험결과 카빙 각도의 크기가 작을수록 일치도가 증가함을 알 수 있다. 하지만 humanoid 와 같이 원본 오브젝트의 모양이 정확히 90 도로 떨어지는 경우는 60 도로 카빙할 경우 오차가 크게 생기는 것을 확인하였다. 하지만 30 도씩 카빙한 결과와 90 도씩 카빙한 결과는 같은 것을 볼 수 있다.



(그림 10) 카빙 각도에 따른 일치도

5. 결론

본 논문에서는 정밀도는 떨어지지만 간편한 장비로 3 차원 복원을 할 수 있는 볼륨 카빙 기법 알고리즘에 대하여 제안하였다. 실험 결과 직각으로 이루어진 단순한 오브젝트보다 복잡한 오브젝트가 카빙에 더 적합할 것으로 판단되며, 입력 데이터가 많을수록 정확도가 높아질 것으로 예상하였으나 단순한 오브젝트는 꼭 필요한 2 장의 데이터만을 가지고도 18 장의 데이터만큼의 정확도를 나타냄을 알 수 있었다.

추후 과제로는 정해진 환경에서 촬영한 입력 데이터가 아닌 다양한 환경에서 촬영한 입력 데이터로부터 더욱 정밀한 결과물을 낼 수 있는 방안을 모색하고, 다양한 물체에 대한 실험이 부족했던 만큼 오목한 물체, 빛나는 물체 등 다양한 물체에 대한 실험 및 그에 따른 알고리즘 개선이 필요할 것으로 보인다. 또한 적은 수의 입력 데이터로 결과물을 낼 수 있는 방안에 대한 연구 또한 필요하다.

실험에 사용된 오브젝트(cessna) [6]와 샘플로 사용된 오브젝트[7]의 결과 영상은 참고문헌란 에 링크해 두었다.

6. 감사의 글

이 연구는 경북대학교 임베디드 SW 센터-컴퓨터학부간 URP(Undergraduate R&D Program) 프로그램의 지원으로 수행되었음.

참고문헌

[1] http://en.wikipedia.org/wiki/3D_modeling
[2] 기반기술연구팀, 추창우 외 5 명, “3 차원 복원 기술 동향” , 전자통신동향분석 제 22 권 제 4 호 통권 106 호, pp. 1-11, 2007.8
[3] P. Favaro, A. Mennucci, and S. Soatto, “Observing Shape from Defocused Images”, Int’l Journal of Computer Vision, Vol.52, No.1, 2003, pp.25-43
[4] Marc Pollefeys, “Obtaining 3D Models With a Hand-Held Camera”, Courses on Siggraph 2001, 2001.8
[5] Berthold K.P. Horn and Michael J. Brooks, Shape from Shading, The MIT Press, Cambridge, MA, 1989.
[6] http://youtu.be/SCQ3R8e_bzo
[7] http://youtu.be/2AyZzFwd51I