

3D Reconstruction Tool

2022440046 노태영, 2022440119 전형준

I. INTRODUCTION

A. 프로젝트 목적

기존의 3D Reconstruction은 두 대 이상의 카메라로 다양한 방향과 각도에서 물체를 촬영해야 한다. 결과적으로 많은 비용이 발생하게 된다. 하지만 여러 방향과 각도에서의 촬영 결과물이 필요한 것이 비용 발생의 원인이라면, 물체를 회전시키고, 해당 물체를 카메라 한 대로 연속 촬영하여 3D Reconstruction을 비교적 간단하고 저렴하게 구현할 수 있을 것으로 판단했다. 따라서 이번 3D Reconstruction Tool 프로젝트를 통하여 3D Reconstruction의 결과물 품질은 유지하되, 비용을 절감할 수 있도록 한다.

기존의 3D Reconstruction의 품질을 최대한 유지하면서 비용을 절감하도록 하는 경우 제품 디자인 프로토타입을 저렴한 비용으로 3D 재구성할 수 있기에 3D Reconstruction을 전문으로 하지 않는 비전공자들이나 학생들이 쉽게 활용할 수 있을 것이다. 이를 통해 온라인 쇼핑몰과 같은 곳에서 제품의 3D 모델을 생성하려 할 때, 비용 효율적인 3D Reconstruction 기술을 통해 저렴한 비용으로 기본적인 3D 모델을 생성하여 초기 디자인의 빠대를 구축할 수 있으며, 생성된 base 모델을 기반으로 후처리를 쉽게 수행할 수 있어 최종 제품 모델링에 소요되는 시간을 단축할 수 있다. 이는 고객이 제품의 3D 모델을 통해 다양한 각도에서 제품을 확인할 수 있어 구매 전에 제품을 더 잘 이해할 수 있으며, 매출에 도움이 될 수 있을 것이다.

B. 프로젝트 결과 요약

기존의 전통적인 3D Reconstruction과 비교해봤을 때, 결과물의 품질을 거의 떨어뜨리지 않고 비용을 매우 절감할 수 있었다.

II. 3D RECONSTRUCTION TOOL DESIGN

A. 3D Reconstruction Tool design

아두이노를 이용하여 회전판과 카메라를 구현하고, 시리얼 통신을 이용하여 카메라로 촬영한 결과물을 컴퓨터로 전송하는 것을 자동화한다. 회전판은 아두이노 보드, 스텝 모터와 모터 드라이버로 구현할 수 있다. 아두이노 코드를 작성하여 회전판의 회전을 구현할 때, 효율적인 3D Reconstruction을 위해서는 물체의 여러 면이 촬영되어야 하기 때문에 회전 속도를 충분히 느리게 설정하도록 한다. 카메라는 아두이노 보드, 카메라 모듈과 SD 카드 리더 모듈로 구현할 수 있다. 하지만 주어진 프로젝트 기간 내에 카메라 모듈을 배송받을 수 없었기 때문에 이번 프로젝트에는 카메라 모듈과 SD 카드 리더 모듈 대신, 카메라 실드를 사용했다[1]. 카메라로 촬영하고 SD 카드에 저장하기까지 약 0.5 초 이상 소요되기 때문에 촬영 주기를 1초로 설정함으로써 SD 카드에 이미지 데이터가 완전히 저장되도록 한다.

컴퓨터에 이미지 데이터들이 저장되었다면 COLMAP을 사용하여 3D Reconstruction을 진행하기 위해선 이미지 전처리 과정이 필요하다[2]. 우리가 촬영한 공간에 맞는 전처리를 진행했다. 카메라의 왜곡 보정과 색상 대비를 조정하며 재건축 과정 성능을 높이도록 했다. 이후 이미지의 특징점을 추출하는 과정을 거친다. Feature Extraction 단계에서는 주로 사용하는 SIFT(Scale-Invariant Feature Transform)을 사용하여 이미지에서 주된 특징점을 추출하는 과정을 거쳤다.

다음으로 Feature Extraction을 거친 데이터에 대해서 여러 이미지를 사이에서 추출된 특징점들이 어떻게 매칭되는지를 파악하는 과정을 거쳤다. 이를 Feature Matching 단계라 부르며 이는 앞에서 말한 SIFT를 통해서 Feature Extraction과 연속적으로 수행했다.

이렇게 매칭된 정보들 중에서 제대로 된 정보만 있어야 좋은 3D Reconstruction 결과물이 나오기 때문에 Geometric Verification 과정을 거쳐 잘못된 매칭을 제거해주었다. 이번에 사용한 것은 RANSAC(Random Sample Consensus)기법이다.

최종적으로 3D 이미지를 생성하는 방법에서는 SFM 방식(Structure from Motion)을 사용했다. 이 방식은 간단히 말해 초기 재구성 작업을 통해 카메라의 위치와 3D 포인트 클라우드를 생성하고 이후 추가적인 이미지를 순차적으로 처리하며 점진적으로 3D 모델을 구체화하는 것이다. 우리는 저해상도 카메라를 사용해 재구성을 진행하는 것이기에 Sparse와 Dense

Reconstruction 을 진행해 모든 이미지 쌍에 대한 Depth map 을 고려하여 모델을 생성했다. 이렇게 만든 모델은 MeshLab 소프트웨어를 사용하여 제대로 재구성되었는지 확인했다.

B. Troubleshooting

고품질의 3D Reconstruction 결과물을 얻기까지의 시행착오가 있었다. 개방된 공간에서 물체를 촬영한 경우, 배경이 이미지 데이터에서 노이즈로 작용하는 것으로 판단하여 A4 용지 혹은 초록색 컬러 보드를 이용하여 폐쇄된 공간에서 촬영했다. 또한 폐쇄된 공간에서 촬영한 경우, 이미지 데이터가 어두워서 고품질의 결과물을 얻을 수 없는 것으로 판단하여 조명을 추가했다. 이외에도 카메라와 물체 사이의 거리에 따라 카메라의 초점과 물체의 크기가 달라지기 때문에 3D Reconstruction 의 결과물 품질에도 영향을 미칠 것으로 판단했다. 따라서 최고품질을 얻을 수 있는 거리를 경험적으로 구하기 위해 카메라와 물체 사이의 거리를 15cm 부터 25cm 까지 1cm 씩 증가시키며 50 회 촬영하여 결과물을 확인했다. 결과적으로 거리가 20cm 일 때, 가장 3D Reconstruction 이 잘 진행되었다.

일반적인 3D 재구성 방식과 달리 우리는 저해상도 이미지를 통해서 모델을 재구성하는 방식을 사용했다. 이 과정에서 COLMAP 프로그램이 제대로 동작하지 않았는데, 이를 해결하기 위해서 물체의 노이즈를 제거하는 전처리를 진행하고 뒷 배경을 크로마키를 사용하여 제거하는 방식을 사용했다. 결과적으로 전처리를 통해서 COLMAP 프로그램이 특징점들을 제대로 추출할 수 있었다. 또한 프로젝트에서 촬영하는 환경에 맞게 가장 최적의 파라미터를 찾는 과정을 grid search 를 통해 진행했다.

III. EXPERIMENTAL RESULT

이번 프로젝트의 최종 목표는 저해상도 카메라 한 대와 회전 테이블을 사용하여 3D Reconstruction 을 진행할 수 있는 장치를 만드는 것이었다. 실험 결과는 아래와 같다. 예시로 Fig. 1 과 같은 작은 휴지 사진들을 가지고 Reconstruction 결과를 설명하도록 하겠다.



Fig. 1. 3D Reconstruction 대상

Fig. 1 을 살펴보면 텐테이블에 물체를 돌려 놓고 동일한 위치의 카메라 한대만을 사용해서 물체를 촬영한 것을 알 수 있다. 우리의 목적은 단 하나의 카메라를 사용하여 여러 방향에서 촬영한 것과 같은 효과를 나타내는 것이었기에, 이를 위해서 전처리를 진행한 사진을 사용하여 COLMAP 프로그램을 이용해 재구성을 진행했다(Fig. 2).

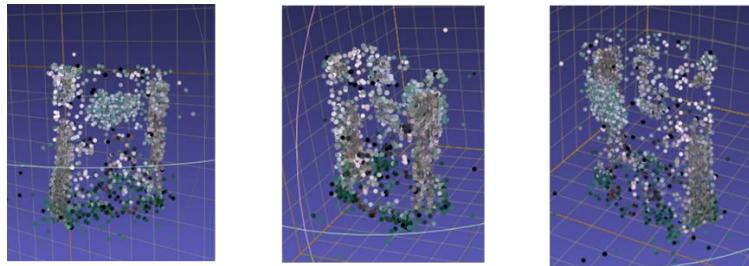


Fig. 2. 3D Reconstruction 결과

Fig. 1 과 같이 정육면체의 구조뿐만 아니라 색상도 어느정도 파악한 모습을 확인할 수 있다. 이는 완벽한 재구성은 아니지만 이후 후처리 과정을 거쳐 더 완벽한 구조를 파악할 수 있도록 도움을 줄 수 있다. 기본 빠대 모델을 생성하고 해당 모델을 바탕으로 후처리한다면 더 빠르고 쉽게 재구성을 진행할 수 있을 것으로 기대한다.

IV. CONCLUSION

이번 프로젝트의 목적은 비교적 저렴한 비용으로 기존의 방법과 유사한 품질의 3D Reconstruction 을 구현하는 것이었다. 결과적으로 비용을 절감할 수 있었고 품질저하가 존재하긴 했지만 유의미한 정도로 저하되지는 않았다. 만약 더 높은 품질의 결과물을 얻어야 한다면 크게 두 가지 방법이 있다. 첫 번째는 고화질의 카메라를 사용하여 이미지 데이터의 화질을 개선함으로써 3D Reconstruction 의 결과물 품질을 높이는 것이다. 두 번째는 카메라를 수직으로 여러 대 사용하여 여러 각도에서 촬영한 이미지 데이터를 얻음으로써 3D Reconstruction 의 결과물 품질을 높이는 것이다. 해당 두 가지 방식을 사용해(Fig. 3) 결과물을 확인해보면 Fig. 4 와 같다. 이는 고화질 카메라를 사용하여 물체의 이미지를 측정하고 다양한 각도에서 촬영한 모습이다. 기준보다 더 세밀한 모습을 확인할 수 있고 한 평면을 기준으로 물체를 회전하여 측정한 결과보다 더 전체적인 입체 구조를 잘 반영해주는 것을 확인할 수 있다.



Fig. 3. 고화질 카메라로 다각도에서 촬영한 3D Reconstruction 대상

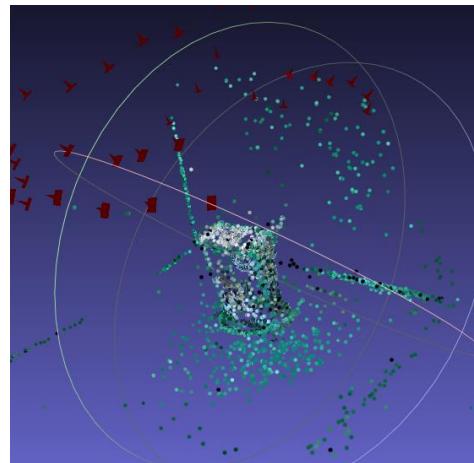


Fig. 4. 고화질 카메라로 다각도에서 촬영한 3D Reconstruction 결과

추가적인 개선점으로 COLMAP 을 사용하는 방식이 아닌 딥러닝 기법을 사용하여 재구성을 진행하려 시도했으나, 딥러닝 모델의 학습 대상이 고해상도 이미지였기에, 저해상도 이미지에 대해서는 제대로 특징점을 파악하지 못하는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 5 의 왼쪽은 딥러닝 모델의 특징점 추출, 오른쪽은 COLMAP 의 특징점 추출이다. 해당 그림에서 확인할 수 있듯이 제대로 된 특징점 파악이 불가능해 입체 구조를 정확히 파악하지 못했다. 이를 해결하기 위해 이미지를 특징 데이터, COLMAP 의 특징점을 Label 로 하는 모델을 Fine Tuning 하여 활용하는 방식을 시도해볼 것이다.

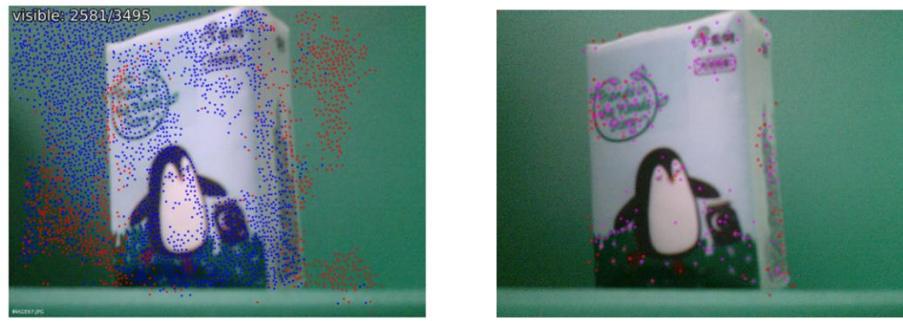


Fig. 5. 딥러닝 모델과 COLMAP 의 특징점 추출

REFERENCES

- [1] https://github.com/Seeed-Studio/Camera_Shield_VC0706
- [2] <https://github.com/colmap/colmap>