

Hole 이 발생하지 않는 Graph-Cut 기반 Mesh Reconstruction

한현덕, *한종기

세종대학교, *세종대학교

gusejr0425@sejong.ac.kr, *hjk@sejong.edu

Graph-Cut based Mesh Reconstruction Algorithm

HyeonDeok Han, *Jong-Ki Han

Sejong University, *Sejong University

요 약

포인트 클라우드는 2D 이미지를 3D 로 복원하고 표현하는 방법으로써 많은 연구가 진행되고 있다. 하지만 포인트 클라우드로만 표현할 경우 포인트와 포인트 사이에 빈 공간이 존재하여 실제 3D 물체와 차이가 존재한다. Mesh Reconstruction 은 보다 실제 3D 물체처럼 보이기 위해 포인트와 포인트를 이어 mesh 를 생성하는 방법인데 생성된 mesh 의 quality 는 texturing 을 거친 최종 결과에 큰 영향을 끼친다. 기존에 존재하는 이미지를 기반으로 생성된 포인트 클라우드의 Mesh Reconstruction 방법은 노이즈에 어느 정도 강한 면을 보이지만 최종 결과에서 잘 이어진 mesh 를 생성하지 못하고 hole 이 존재하는 문제가 있다. 본 논문에선 노이즈에 강하면서 최종 결과에서 잘 이어진 mesh 를 만들 수 있도록 하는 Mesh Reconstruction 알고리즘을 제안한다.

1. 서론¹

LiDAR 혹은 RGB-D 센서로 수집되는 포인트 클라우드는 넓은 영역의 포인트 클라우드를 생성하기 힘들다는 단점과 장비의 가격이 비싸다는 단점이 존재한다. 반면 이미지를 기반으로 생성하는 포인트 클라우드는 넓은 영역의 포인트를 생성할 수 있고 특별한 장비 없이 사진만 있으면 3d 포인트를 생성할 수 있다[1]. 이러한 장점에 힘입어 최근 이미지를 기반으로 하는 포인트 클라우드 생성 방법에 관한 많은 연구가 이어져왔고 이와 더불어 생성된 포인트로 Mesh 를 생성하는 연구 역시 많이 이어져왔다.

넓은 영역의 포인트를 생성할 수 있고 장비의 가격이 싸다는 장점이 있지만 생성된 포인트에 노이즈가 많다는 점과, 넓은 영역의 포인트를 생성할수록 계산량이 늘어난다는 점과, 물체에 따라 포인트가 잘 생성되기도 하고 유리나 플라스틱 병과 같이 투명한 물체에선 적은 포인트만 생성되기도 하는 점과 같이

극복해야할 문제 역시 존재한다. 이미지를 기반으로 생성된 포인트 클라우드로 Mesh 를 생성하는 연구들은 이러한 문제점을 극복하기 위한 방향으로 연구가 진행되어 왔다.

실루엣을 기반으로 하는 방법에선 실루엣이 잘 추출된 경우 좋은 결과를 보이지만 실루엣을 정확히 추출하기 힘들다는 한계가 있다[2]. Space carving 과 같은 Volumetric 방법은 계산 비용이 적지만 작은 물체나 영역에서만 좋은 결과를 보이는 한계가 있다[3]. 본 논문은 Delaunay 삼각분할을 기반으로 사면체를 생성한 후 s-t graph cut 으로 사면체들을 inside 와 outside 로 구분하여 Mesh 를 생성하는 방법을 기반으로 한다.

본 논문의 2 장에서 Delaunay 삼각분할 기반 Mesh Reconstruction 을 소개하고 3 장에서 제안하는 Mesh Reconstruction 방법을 설명한 후 4 장에서 실험 결과를 5 장에서 결론을 내린다.

2. 기존 Mesh 생성 방법

¹ 연락저자: 한종기

Delaunay 삼각분할 기반 graph cut 을 이용하는 방법은 우선 Delaunay 삼각분할로 포인트 들을 이어 사면체들을 생성한다. 사면체마다 outside 혹은 inside 로 labeling 하여 outside 와 inside 사면체가 접하고 있는 면을 Mesh 로 생성하는 방법이다. 포인트는 물체의 표면에 존재한다는 점을 이용하여 포인트와 카메라를 잇는 선분이 관통하는 사면체는 outside 로 labeling 되고 포인트 뒤에 존재하는(카메라 반대편에 존재하는) 사면체는 inside 로 labeling 되도록 그림 1 과 같이 graph 에 weight 를 준다[4]. 그림 1 에서 카메라 c 와 포인트 p 를 잇는 선분위에 존재하는 사면체인 T_1, T_2, T_3 은 source(S) 로부터 weight 를 주고 포인트 p 뒤에 존재하는 사면체인 T_4 는 sink(T)로 weight 를 준다.

이와 같은 모델은 Mesh 가 부드럽게 생성되지 못하고 여러 번 겹쳐지면서 과하게 블록해지는 경향이 있다. 이를 해결하기 위한 방법으로 weight 에 $(1 - e^{-\frac{d^2}{2\sigma^2}})$ 을 곱해 포인트와 거리가 가까운 사면체에선 보다 적은 weight 를 주고 포인트 바로 뒤의 사면체를 graph 에서 sink(T)에 연결하지 않고 σ 만큼 떨어진 사면체를 sink(T)에 연결하는 방법이 있다[5].

[6]은 투명한 물체에선 포인트가 적어 Mesh 가 잘 생성되지 못하는 문제를 해결하기 위해 각 사면체가 얼만큼 outside 에 가까운지를 수치화한 $f(T)$ 를 도입하여 포인트를 사이에 두고 인접한 사면체들의 $f(T)$ 값의 차이가 큰 경우 포인트 뒤로 σ 만큼 떨어진 사면체의 sink(T) weight 를 강화하는 방법이다.

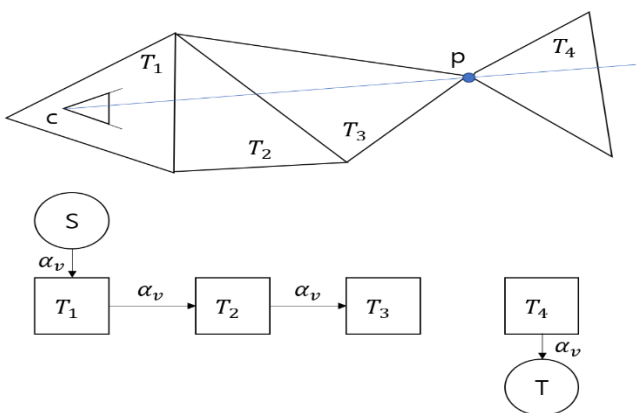
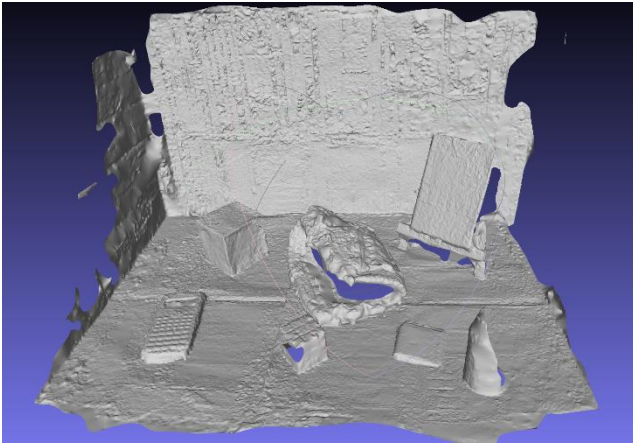


그림 1. Graph-Cut 방법을 이용한 Mesh 생성 방법.

[5, 6]은 비교적 부드러운 Mesh 를 생성하고 투명한 물체의 Mesh 도 어느정도 생성하는 모습을 보이지만 [그림 2]와 같이 최종 결과에 hole 이 발생하는 경향이 있다. 이는 포인트 바로 뒤의 사면체가 아닌 포인트에서 σ 만큼 떨어진 사면체를 sink(T)로 weight 를 주기 때문이다. [5, 6]에서 σ 만큼 떨어진 사면체를 sink(T)로 weight 를 준 이유는 노이즈가 있는 포인트 클라우드에서 부드러운 Mesh 를 생성하기 위해서다. 본 논문에선 노이즈가 있어도 부드러운 Mesh 를 생성하면서 최종 결과에서 발생하는 hole 을 없애기 위해 [7]과 유사한 방법을 사용한다. [7]에선 포인트 바로 뒤의 사면체를 sink 로 weight 를 주는데 포인트 바로 뒤의 사면체가 노이즈의 영향을 크게 받으면 사면체의 외접구의 반지름이 작아진다고 보고 weight 에 $(1 - e^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}})$ 을 곱하는 방법을 이용했다. 하지만 포인트 클라우드에서 포인트 간의 간격이 대부분 매우 작아 노이즈가 있는 부분의 사면체와 없는 사면체의 외접구의 반지름은 대부분 작고 심한 노이즈가 아니면 큰 차이가 없다. 본 논문에선 외접구의 반지름 대신 사면체의 모서리 중 가장 짧은 모서리와 가장 긴 모서리의 비를 이용한다. 둘의 차이가 크면 사면체의 모양의 quality 가 낮고 이는 노이즈를 포함할 확률이 높다고 판단한다. 둘의 차이가 크면 둘의 비는 작아지고 이는 sink(T)로의 weight 를 줄여주는 역할을 한다.

유리나 플라스틱 병과 같이 표면에 포인트가 적게 생성되는 부분이라고 판단됐을 때 [6]에선 포인트에서 σ 만큼 떨어진 사면체의 sink(T)로의 weight 를 강화시켰고 [7]에선 모든 사면체의 $f(T)$ 를 구한 후 모든 $f(T)$ 값의 75%보다 낮은 $f(T)$ 를 갖는 사면체는 sink(T)로의 weight 를 강화시켰다. [6]의 결과는 [그림 2]와 같은 hole 을 발생시키고 [7]은 실험으로 인한 결과를 근거로 75%를 책정했는데 실험 환경에 따라 달라질 수 있는 수치다. 본 논문에선 포인트 앞의 사면체와 뒤의 사면체의 $f(T)$ 를 조사하여 둘의 차이가 충분히 큰 경우 포인트 바로 뒤의 사면체에 sink(T)로의 weight 를 강화하는 방법을 제안한다. 이는 서로 다른 실험 환경에서 적용 가능하고 최종 결과에서 hole 을 유발하지 않고 잘 이어진 mesh 를 생성한다.

3. 제안하는 Mesh 생성 방법



(a)

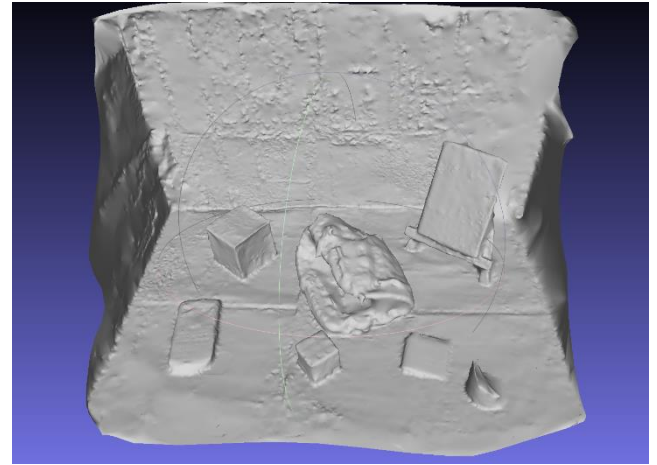


(b)

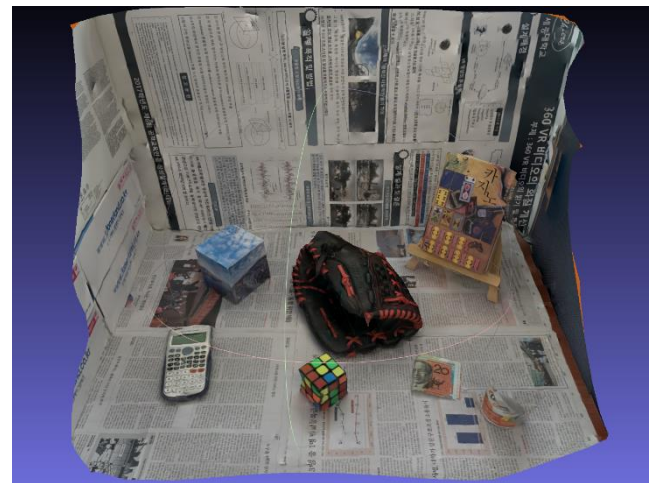
그림 2. [6]의 방법으로 생성된 Mesh 와 최종 결과물.

4. 실험결과

그림 2 에서 글러브의 안쪽과 큐브, 책 뒷면에 hole 이 존재하는데 실험결과인 그림 3 에선 이런 hole 이 사라진 결과를 보인다. [6]에선 $f(T)$ 의 값을 비교할 때 포인트 앞으로 4σ 만큼 떨어진 거리 내에 있는 모든 사면체와 포인트 뒤로 3σ 만큼 떨어진 거리 내에 있는 모든 사면체를 비교했지만 제안하는 방법에선 포인트 앞 뒤로 2 개의 사면체의 $f(T)$ 만 비교하므로 훨씬 효율적이다.



(a)



(b)

그림 3. 제안하는 방법을 이용한 실험결과.

5. 결론

포인트가 물체의 표면에 존재하기 때문에 포인트와 카메라를 잇는 선분 위의 사면체는 outside 로 labeling 하고 포인트 뒤의 사면체는 inside 로 labeling 하여 mesh 를 생성하는 많은 연구가 있었다. 거리에 따라 가중치를 다르게 주는 방법과 포인트 뒤로 σ 만큼 여유 거리를 두고 sink(T)로 weight 를 주는 방법은 부드러운 mesh 를 생성하지만 최종적으로 hole 이 존재하는 mesh 를 생성하는 경향이 있다. 포인트 바로 뒤의 사면체에 sink(T)로의 가중치를 주고 사면체의 모양의 quality 로 노이즈 정도를 판별하여 서로 다른 가중치를 주면 부드러운 mesh 를 생성하면서 hole 이 존재하지 않는 mesh 를 생성할 수 있다.

ACKNOWLEDGMENT

This work was partly supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) under Grant NRF-2018R1A2A2A05023117 and partly by Institute for Information & communications Technology Promotion (IITP) under Grant 2017-0-00486 funded by the Korea government (MSIT).

참 고 문 헌 (References)

- S. Agarwal, N. Snavely, I. Simon, S. Seitz, and R. Szeliski, "Building rome in a day," ICCV, 2007
- A. Laurentini, "The visual hull concept for silhouette-based image understanding," IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., Vol.16, No.2, pp.150-162, 1994
- A. Broadhurst, T.W. Drummond, R. Cipolla, "A probabilistic framework for space carving," In Proceedings of the 8th IEEE International Conference on Computer Vision, Vancouver, BC, Canada, 7-14, pp.388-393, July 2001
- P. Labatut, J.P. Pons, R. Keriven, "Efficient multi-view reconstruction of large-scale scenes using interest points, Delaunay triangulation and graph cuts," In Proceedings of the 11th IEEE international Conference on Computer Vision, Brazil, Rio De Janeiro, pp. 1-8, October 2007
- P. Labatut, J.P. Pons, R. Keriven, "Robust and efficient surface reconstruction from range data," Comp. Graph Forum, pp. 2275-2290, 2009
- M. Waechter, N. Moehrle, and M. Goesele, "Exploiting visibility information in surface reconstruction to preserve weakly supported surfaces," International Scholarly Research Notices, Vol. 2014, 2014
- Y. Zhou, S.H. Shen, Z.Y. Hu, "Detail preserved surface reconstruction from point cloud," Sensors, 2019, 19(6): 1278, doi:10.3390/s19061278