

수정된 가중치를 이용한 효율적 Mesh Reconstruction

정우경, 한종기

세종대학교

trancis314@sju.ac.kr, hjk@sejong.edu

Efficient Mesh Reconstruction Based on Modified Weight Factor

Woo-Kyung Jung, Jong-Ki Han

Sejong University

요 약

Structure-from-Motion(SfM), Multi-view Stereo(MVS)이 이용되는 3D Reconstruction 과정에서 생성된 3D 포인트 클라우드는 RGB 영상에 기반하여 생성되므로 실제 객체 혹은 Scene 과 달리 point 와 point 간에 존재하는 빈 공간이 발생한다. 이를 개선하기 위하여 3D 포인트 클라우드를 이용하여 3D Mesh 를 복원하는 Mesh Reconstruction 과정을 거치게 된다. 본 논문에서는 Mesh Reconstruction 과정에서 자유공간 지도에 기반해 수정한 가중치를 이용하는 효율적인 방법을 제안한다. 실험을 통하여 제안한 알고리즘을 이용한 복원 결과가 기존보다 개선됨을 보인다.

1. 서론¹

최근 다양한 VR, AR 기기 및 해당 기기를 이용한 가상환경에 대한 관심 및 발전에 따라, 단순히 가상의 환경을 보는 것뿐만이 아닌, 현실의 객체, 혹은 Scene 을 해당 기기를 이용하여 체험하는 것에 대한 관심 역시 상승하고 있다.

해당 객체 혹은 Scene 을 제작하기 위한 방법으로는 Structure-from-Motion(SfM), Multi-view Stereo(MVS)가 있으며, 이를 주로 이용하는 3D Reconstruction 분야에서는 LiDAR 과 같은 별도의 고가 장비를 이용하지 않고도 3D 객체, 혹은 Scene 의 Point 를 생성할 수 있다는 점으로 인하여 많은 연구가 진행되어왔다.

위와 같은 알고리즘을 이용하여 복원된 3D 포인트 클라우드는 별도의 Mesh Reconstruction 알고리즘을 통하여

3D Mesh 로 복원된다. 특히 3D 포인트 클라우드로부터 Mesh surface 를 복원하는 문제는 꾸준히 연구되어 왔지만, 야외 및 복잡한 Scene 에서의 복원은 여전히 열린 문제이다.

SfM 및 MVS 에 기반한 3D Reconstruction 과정에서 생성되는 포인트 클라우드는 RGB 영상에 기반하므로 필연적으로 노이즈가 발생하게 된다. 이러한 문제로 인하여, 다수의 연구들은 Mesh Reconstruction 과정에서 발생하는 weak surface 에서의 복원에 대해 다루었다.

본 논문에서는 Mesh Reconstruction 과정에서 Delaunay Triangulation[1]에 기반하여 생성된 Delaunay Tetrahedralization 에서 이용되는 s-t graph 생성 및 graph cut 과정에서 이용되는 weight 를 자유공간 지도에 기반하여 이용함으로써, 복원되는 Mesh 품질을 향상시키기 위한 효율적인 알고리즘을 제안한다.

¹ 연락 저자: 한종기

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 절에서는 기존 Mesh Reconstruction 에 대해 살펴본다. 3 절에서는 제안하는 알고리즘에 대하여 설명한다. 4 절에서는 본 논문에서 제안하는 알고리즘을 적용하여 복원 결과를 확인한다. 마지막으로 5 절에서는 본 논문에 대한 결론을 맺는다.

2. 기존 알고리즘

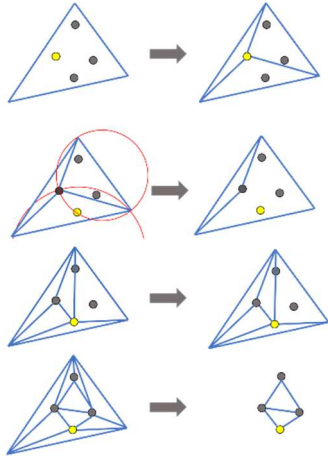


그림 1. Delaunay Triangulation 을 통해 face 를 생성하는 과정

일반적으로 3D Mesh Reconstruction 은 Volumetric 기반 방법[2]과, Poisson 방식[3], 그리고 가장 많이 이용되는 Delaunay triangulation 방식을 통해서 진행된다.

이 중 Delaunay triangulation 방식은 그림 1 과 같이 Delaunay triangulation 을 통해 입력된 3D 포인트 클라우드의 포인트를 연결하는 삼각형 형태의 face 를 생성한다. 이러한 face 들을 통해 사면체를 생성하는 과정인 Delaunay Tetrahedralization 을 진행하고, 이 사면체들에 대해 s-t graph 를 생성한다.

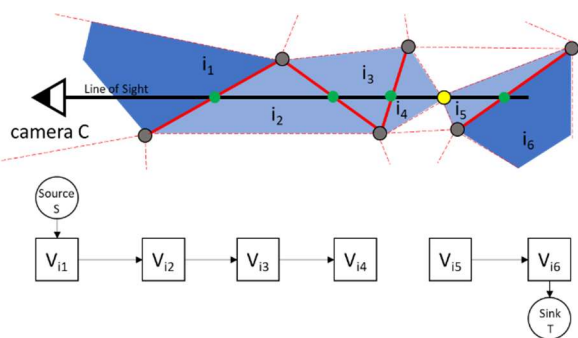


그림 2. Delaunay Tetrahedralization 을 통해 생성된 사면체에 대한 s-t graph 및 graph cut 진행 예시

생성된 s-t graph 는 사면체의 성질을 이용하여 사면체들이 source S 와 sink T 에 각각 가까운 쪽에 할당되도록 edge 에 weight 가 부여된다. 이후 그림 2 와 같이 graph cut[4]을 통해 mesh 를 구성한다.

3. 제안하는 알고리즘

제안하는 알고리즘은 주어진 Delaunay 사면체에 대하여 s-t graph 를 이용한 graph-cut 기반 Mesh Reconstruction 과정에서, 입력되는 vertex p 에 대한 카메라 C 로부터의 ray 상에 존재하는 사면체 들의 자유공간 지지도 $f(T)$ 의 차이를 이용하여 p 를 Surface 혹은 Inside 로 분류한다.

$$D_{x \in \langle -n, p \rangle} = \max(f_x(T) | x \in \langle -n, p \rangle) - \min(f_x(T) | x \in \langle -n, p \rangle) \quad (1)$$

$$D_{x \in \langle p, n \rangle} = \max(f_x(T) | x \in \langle p, n \rangle) - \min(f_x(T) | x \in \langle p, n \rangle) \quad (2)$$

$$r(p) = \frac{D_{x \in \langle -n, p \rangle}}{D_{x \in \langle p, n \rangle}} \quad (3)$$

이를 위해 여기서 $r(p)$ 는 식(3)과 같이 p 에 대하여 카메라 C 로부터 p 까지의 ray 상에 존재하는 사면체 중 $n\sigma$ 거리 내의 사면체의 $f(T)$ 의 최대값과 최소값의 차이인 $D_{x \in \langle -n, p \rangle}$ 와 p 이후로 ray 상에 존재하는 사면체 중 $n\sigma$ 거리 내의 사면체들의 $f(T)$ 의 최대값과 최소값의 차이인 $D_{x \in \langle p, n \rangle}$ 의 비율이다. σ 는 노이즈를 방지하기 위한 Thickness Factor 이다.

$$c(p) = \begin{cases} \text{Surface,} & \text{if } r(p) > \text{threshold } T \\ \text{Inside,} & \text{else,} \end{cases} \quad (4)$$

입력되는 p 의 분류 결과 $c(p)$ 는 식(4)과 같은 기준을 통해 결정된다. $R(p)$ 는 p 가 표면에 존재하는 vertex 인 경우 그 값이 증가하는 성질이 있다. 이를 이용하여 $r(p)$ 가 threshold T 값에 따라 p 를 Surface, 혹은 Inside 로 분류하는 결과인 $c(p)$ 를 알 수 있다.

$$\bar{w}(e) = w(e) \times \left(1 - e^{-\dots}\right), \text{ if } c(p) = \text{Surface} \quad (5)$$

$c(p)$ 의 값이 Surface 일 경우, 해당 vertex 의 s-t graph 상의 node에 대해서 sink T로 향하는 edge에 대해 식(5)와 같이 가중치를 갱신하여 적용한다.

4. 실험 결과

본 논문에서는 제안한 알고리즘을 구현하기 위하여 Computational Geometry Algorithms Library(CGAL) 및 openMVS[5]를 이용하여 Delaunay Tetrahedralization 을 생성하였으며, 실험을 위하여 구성된 실험환경의 RGB 영상 데이터셋(3000x4000, 278 장)중 일부 사물에 해당하는 subset 을 이용하여 Mesh Reconstruction 및 Texturing 된 결과를 생성하였다. $c(p)$ 를 결정하기 위한 threshold T 의 값은 5 를 이용하였다.

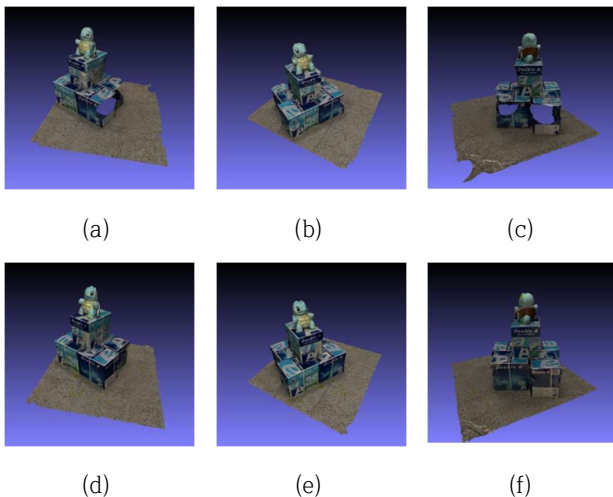


그림 1. (a)-(c) 기존 방법[5]을 이용하여 복원한 결과, (d)-(f) 제안한 방법을 이용하여 복원한 결과

실험 결과 제안한 방법을 이용하여 복원한 Mesh 결과가 기존 방법보다 더 정확한 복원 결과를 보이는 것을 확인할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 Mesh Reconstruction 을 개선하기 위한 새로운 방법을 제안하였다. 제안하는 방법은 Mesh Reconstruction 과정에서 Weight 에 대해 자유공간 지도에 기반한 수정된 Weight 를 이용하여 s-t graph 를 생성한 뒤, graph-cut 을 이용하여 Mesh surface 를 복원하는 알고리즘이다.

4 절에서 제안한 알고리즘을 이용한 Mesh Reconstruction 결과가 기존보다 더 좋은 성능을 나타내는 것을 보였다.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by Institute for Information & communications Technology Promotion (IITP) under Grant (2017-0-00486) funded by the Korea government (MSIT).

References

- [1] B. Delaunay, "Sur la sphère vide. A la mémoire de Georges Voronoi", Bulletin de l'Académie des Sciences de l'URSS. Classe des sciences mathématiques et na, 1934, no. 6, 793-800
- [2] Rom, Michael, and Karl-Heinz Brakhage. Volume mesh generation for numerical flow simulations using Catmull-Clark and surface approximation methods. Aachen, Germany: Inst. für Geometrie und Praktische Mathematik, 2011.
- [3] Kazhdan, M., Bolitho, M., and Hoppe, H., Poisson surfacereconstruction, Symposium on Geometry processing, 61- 70, 2006.
- [4] Boykov, Yuri, and Gareth Funka-Lea. "Graph cuts and efficient ND image segmentation." International journal of computer vision 70.2 (2006): 109-131.
- [5] <https://github.com/cdcseacave/openMVS>