

푸아송 디스크 샘플링을 적용한 포인트 클라우드의 메쉬화 : RTAB-Map과 VisualSFM 비교

김소희, 양유진, *김동호

서울과학기술대학교

kkssh0327@gmail.com, 2216056@naver.com,

*dongho.kim@seoultech.ac.kr

Creation of a Mesh by applying Poisson Disk Sampling to PointCloud : Comparison of RTAB-Map and VisualSFM

Yujin Yang, Sohee Kim, Dong Ho Kim

Seoul National University of Science and Technology

요 약

본 논문에서는 컴퓨터 그래픽에서 주로 적용되어 왔던 푸아송 디스크 샘플링(Poisson Disk Sampling)을 3차원 영상 모델링에 적용하는 것을 제안한다. 이 샘플링 기법은 3차원 영상 센서의 핵심 기술로 사용되는 라이다 센서를 활용해 수집한 PointCloud가 특정 위치로 뭉쳐지는 클러스터 현상이 발생하지 않고 균일하게 분포하게 할 뿐 아니라 영상의 노이즈도 제거한다. Intel의 라이다 센서 L515와 Apple의 태블릿 라이다 센서를 이용해 추출한 PointCloud를 Poisson Disk Sampling 과정을 거쳐 Mesh를 생성하고 이를 SLAM 기법으로 추출한 경우와 비교한다. PointCloud의 수를 줄였을 때 더 좋은 Mesh를 생성할 수 있다.

1. 서론

최근 비대면 사회의 진입으로 가상현실(VR : Virtual Reality)과 증강현실(AR : Augmented Reality) 콘텐츠 소비가 빠르게 증가하고 있다. 가상현실(VR)은 현실세계를 인공적인 기술을 활용하여 실제로 얻기 힘든, 또는 얻을 수 없는 경험이나 환경 등을 제공해 인체의 오감을 자극함으로써 실제와 같이 체험하는 기술을 말한다. 현실세계의 정보에 추가적인 가상 정보를 덧입혀 현실 경험을 증강시키는 시스템인 증강현실(AR)은 다양한 분야에서 활용되고 있다[1].

하지만 VR과 AR 콘텐츠, 특히 3DoF+ 또는 6DoF 360비디오나 AR 서비스를 위한 3차원 공간모델링을 사용하면 기존의 오디오나 음성, 비디오보다 많은 데이터를 필요로 한다.

따라서 용량 자체를 줄이거나, 습득한 정보를 선별하고 단순화하는 후처리 과정을 거쳐 원본 데이터와 비슷하게 구현할 필요가 있다.

Poisson Disk Sampling은 샘플 점들에 대해 좋은 분포를 제공하며 많은 응용 분야에서 유용한 것으로 알려져 있다[2]. 특히 컴퓨터 그래픽에서는 분포의 임의성이 anti-aliasing[3]을 가능하게 하며[4], 정해진 구간에 해당하는 점을 랜덤하게 찍어 근접한 샘플들이 너무 가깝진 않은지 판단하는 과정을 거쳐 샘플 수를 줄일 수 있다.

본 논문에서는 3차원 영상 센서의 핵심 기술로 사용되는 라이다 센서(Intel 라이다 센서 L515, Apple 태블릿 라이다 센서)를 활용해 수집한 PointCloud를 Poisson Disk Sampling을 이용해 재배치 및 포인트 수 감소를 진행한 뒤 Mesh를 생성한다.

또한 여러 각도에서 촬영한 사진을 토대로 특징점을 추출한 뒤 같은 방식으로 Mesh화를 진행하여 두 가지 경우를 비교한다.

본 논문의 2 절에서는 RTAB-MAP (Real-Time Appearance Based Mapping)[5], VisualSFM[6]과 Poisson Disk Sampling을 살펴본 후, 3 절에서는 Poisson Disk Sampling을 적용한 결과를 비교한다. 4 절에서는 본 논문에 대한 결론 및 향후 연구 방향에 대해 논의한다.

2. 포인트 클라우드 메쉬화 기법

Poisson Disk Sampling을 적용하기 앞서 PointCloud를 추출할 수 있는 툴인 RTAB-Map과 VisualSFM을 소개하고 Poisson Disk Sampling을 설명한다.

2.1. RTAB-Map

RTAB-Map은 Loop closure detector를 사용하는 RGB-D (Depth) 스테레오 및 Lidar(Light Detection And Ranging) 그래프 기반 SLAM(Simultaneous Localization And Mapping) 접근 방식의 프로그램으로, 여기서 Loop closure detector는 이전에 측정한 위치로 되돌아 왔는지 감지하는 프로세스를 말한다. 새로운 이미지가 이전 위치 또는 새 위치에서 나올 가능성을 결정하기 위해 사진 속 특징점(feature point)의 발생 빈도를 비교하는 bag-of-words[7] 접근 방식을 사용한다.

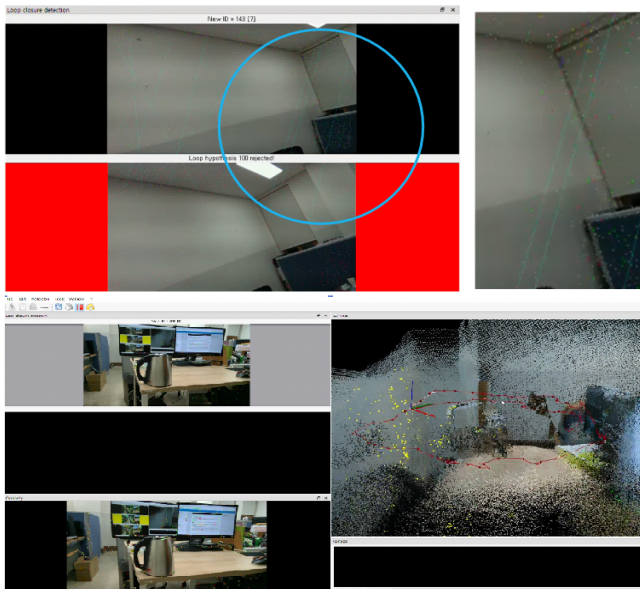


그림 1. RTAB-Map의 사용 예시

그림 1 상단의 파란 원은 이전 위치와 비교하여 새 위치를 추정하는 loop closure detection을 보여주며, 그림 1 하단 오른쪽 사진에서는 3차원 공간에 매칭된 PointCloud와 사용자가 이동한 경로를 확인할 수 있다.

2.2. VisualSFM

VisualSFM은 특징점을 분석하고 SFM (structure from motion)을 사용하여 이동에 따라 3차원 공간을 재구성하는 시스템이며 기능 감지, 기능 일치 및 번들 조정을 위해 멀티 코어 병렬 처리를 활용하여 빠르게 실행된다. 이미지를 기반으로 특징점을 잡아 깊이 정보를 추정하여 PointCloud를 추출한다. 그림 2는 VisualSFM의 진행 과정을 전반적으로 나타낸 것으로, 여러 사진으로부터 특징점을 추출하여 PointCloud를 생성한다.

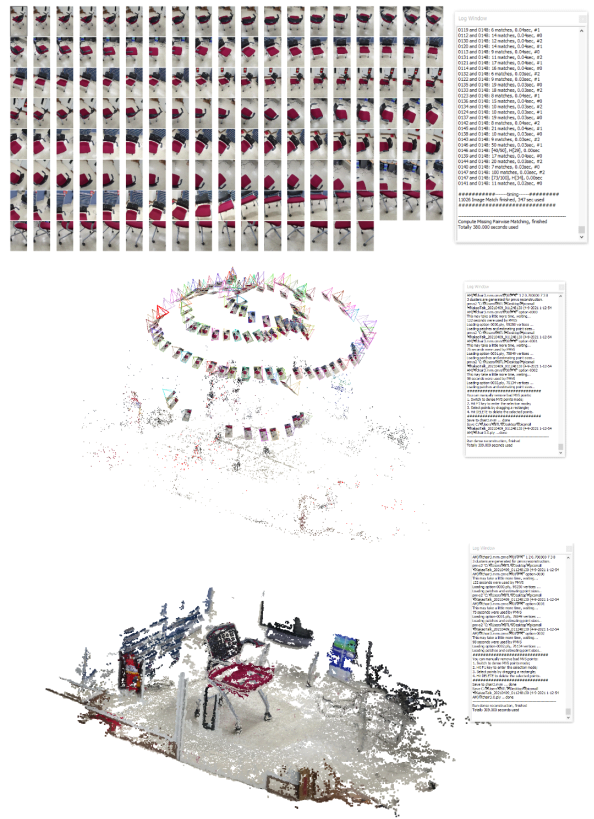


그림 2. VisualSFM의 사용 예시

2.3. Poisson Disk Sampling

Poisson Disk Sampling은 샘플링 과정에서 특정 지점 부근으로 샘플이 뭉쳐지는 현상인 클러스터를 개선한 것으로, 거리 r 보다 멀고 $2r$ 보다 가까운 영역에서만 임의로 포인트를 생성해 일정한 간격을 가지고 매핑될 수 있게 한다. 따라서 최종 결과는 균등하지만 무작위인 분포를 갖게 된다. n 차원 그리드를 이용하며 그리드 한 칸의 크기는 $w = \frac{r}{\sqrt{n}}$ 이다. 그리드 하나 당 하나의 포인트만을 가질 수 있다. 처음에 임의로 액티브 점을 생성하고 이후 새로운 액티브 점들을 생성해나가는데, 만약 인접한 그리드에서 그런 점이 발견되지 않으면 액티브를

종료한다. 이 과정을 통해 샘플들이 너무 가깝지 않도록 조정할 수 있다[8].

3. Poisson Disk Sampling을 적용한 Point

Cloud 메쉬 기법

3.1. 구현 환경

RTAB-Map은 각각 iPad 라이다 센서와 Intel L515로 실험하였다. IOS용 RTAB-Map의 베타 버전 0.20.10과 iPad Pro 12.9형을 사용하고, 64비트 운영 체제, Windows 10의 컴퓨터에 Intel L515를 연결하여 RTAB-Map 0.20.8 버전을 사용하였다. L515의 해상도는 RGB 1920x1080, Depth 640x480이며, iPad는 HD Mode로 RGB Maximum(1920x1440), Depth Maximum(256x192)로 설정한다. 또한 두 RTAB-Map 모두 동일하게 Point size 5, Detection rate 1Hz로 진행한다. VisualSFM은 RTAB-Map과 같은 사양의 컴퓨터에서 0.5.26 버전을 사용하였다.

3.2. 구현 결과

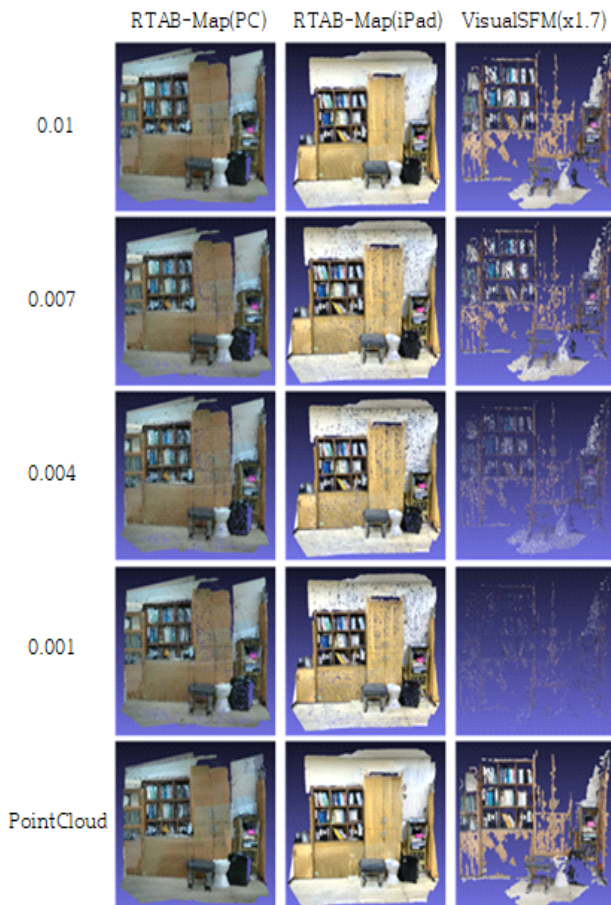
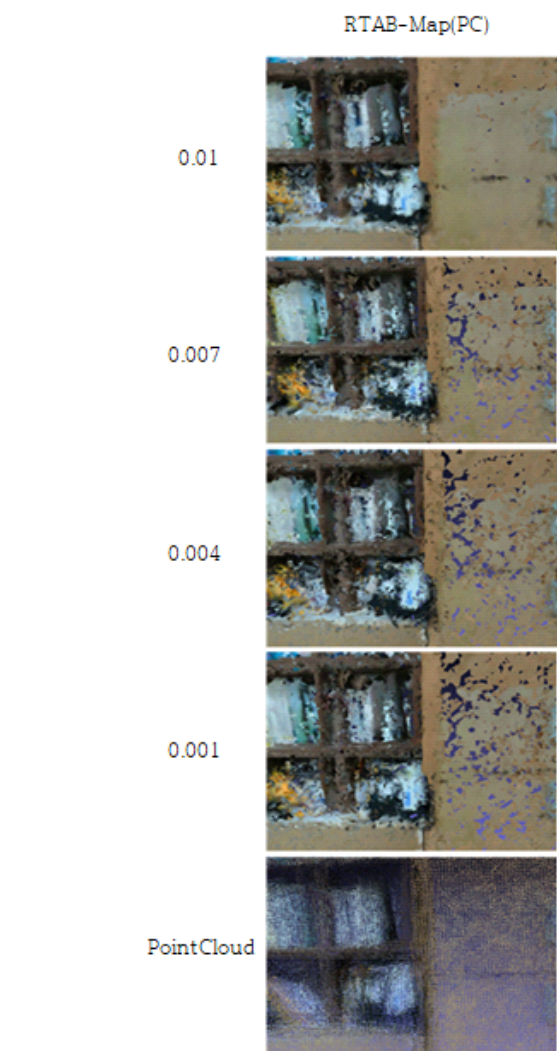


그림 3. Mesh 생성 결과

RTAB-Map과 VisualSFM의 데이터 모두 MeshLab에서 Poisson Disk Sampling과 Surface reconstruction 방법인 Ball

pivoting을 거쳐 Mesh화 하였다[9, 10]. Poisson Disk Sampling을 수행할 때, RTAB-Map의 경우 Base Mesh Subsampling을 선택하여 샘플 수를 1000으로 고정하고 최소 반경 r 을 0.01, 0.007, 0.004, 0.001 (0.003간격, 단위[m])로 설정한 뒤 Mesh화를 진행했다. 샘플의 최소 반경 r 값이 클수록 많은 PointCloud를 제거해 단순화한 것으로 볼 수 있다. 반면에 r 값을 작게 설정하면 세밀한 샘플링이 가능하지만 해당 샘플에 영상의 RGB값이 없으면 미리 설정한 값으로 처리되므로 그림 3에서 보여주는 바와 같이 dummy값으로 처리되는 부분이 증가하는 것을 알 수 있다. 그림 3의 1행부터 4행은 차례로 r 을 0.01, 0.007, 0.004, 0.001로 설정한 결과이다.

이에 반해 VisualSFM의 경우에는 PointCloud 데이터가 RTAB-map에 비해 1.7배 정도 확대되어 측정되었기 때문에 r 또한 비율을 유지할 수 있도록 RTAB-Map radius 값의 1.7배인 0.017, 0.0119, 0.0068, 0.0017를 이용해 측정했다. RTAB-Map과 마찬가지로 그림 3의 1행부터 4행은 차례로 r 을 0.017, 0.0119, 0.0068, 0.0017로 설정한 결과이며, 여기서 Ball pivoting은 모두 radius 1%로 적용한다.



PointCloud

PointCloud

그림 4. RTAB-Map(PC)의 Mesh를 확대했을 때

그 결과 PointCloud가 적을수록(1행으로 갈수록, 위로 갈수록) Mesh를 단순화하기에 적합하여 구멍이 더 적음을 알 수 있다. r 이 0.01m 보다 작은 범위에서, RTAB-Map과 VisualSFM 모두 Poisson Disk Sampling의 r 이 커질수록 구멍이 더 적어 육안으로 보았을 때 보다 괜찮은 결과를 보인다. 따라서 r 을 적당한 값으로 조절하여 Poisson Disk Sampling을 적용하면 구멍은 적고 용량도 줄어든 Mesh를 얻을 수 있다. 여기서 각각의 PointCloud의 수는 아래 표와 같다.

	RTAB-Map (PC)	RTAB-Map (iPad)	VisualSFM (x1.7)
0.01	260233	207879	56103
0.007	385329	364503	102095
0.004	434296	423597	246388
0.001	438885	427209	1147697
PointCloud	438902	427214	1373849

그림 5. PointCloud 수

VisualSFM은 사진에서 특징점을 뽑아 PointCloud를 만들기 때문에 얇은 책이나 책장 깊이 정보가 상대적으로 정확하게 나타난다. 하지만 특징점이 없는 면의 경우 PointCloud로 표현되지 않고 구멍이 생긴다. 따라서 RTAB-Map과 비교했을 때 복잡한 이미지일수록 구멍이 적은 결과물을 내지만, 단순 평면에서는 구멍이 많은 특징을 보인다.

4. 결론

Poisson Disk Sampling을 사용하여 PointCloud의 개수를 적당한 값으로 조절하면 원시 데이터보다 더 나은 Mesh를 추출하고 용량 또한 줄일 수 있다. RTAB-Map으로 깊이 정보를 직접 추출하는 라이다 센서를 사용한 방법이 VisualSFM으로 이미지 기반 특징점을 뽑아 depth를 추정하여 PointCloud를 추출하는 방법보다 더 나은 결과를 보인다.

Acknowledgment

이 논문은 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2020-0-00994, 이용 환경을 반영하는 자율적 VR·AR 콘텐츠 생성 기술개발)

참고문헌

- [1] 국경완, "VR/AR 시스템의 최근 동향 및 현업 적용 사례 그리고 전망," 한국과학기술정보연구원, Sep. 2018.
- [2] Lagae, Ares, and Philip Dutré. "A comparison of methods for generating Poisson disk distributions." Computer Graphics Forum. Vol. 27. No. 1. Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd, 2008.
- [3] Dippé, Mark AZ, and Erling Henry Wold. "Antialiasing through stochastic sampling." Proceedings of the 12th annual conference on Computer graphics and interactive techniques. 1985.
- [4] Ebeida, Mohamed S., et al. "Efficient maximal Poisson-disk sampling." ACM Transactions on Graphics (TOG) 30.4 (2011): 1-12.
- [5] Labbé M "Real-Time Appearance-Based Mapping" 2018 [Online]. Available: <http://introlab.github.io/rtabmap/>. [Accessed 11 05 2021]
- [6] "VisualSFM : A Visual Structure from Motion System," Changchang Wu, last modified Sep 25. 2013, accessed May 11. 2021, <http://ccwu.me/vsfm/>.
- [7] Kejrival, Nishant, Swagat Kumar, and Tomohiro Shibata. "High performance loop closure detection using bag of word pairs." Robotics and Autonomous Systems 77 (2016): 55-65.
- [8] Bridson, Robert. "Fast Poisson disk sampling in arbitrary dimensions." SIGGRAPH sketches 10 (2007): 1.
- [9] Corsini, Massimiliano, Paolo Cignoni, and Roberto Scopigno. "Efficient and flexible sampling with blue noise properties of triangular meshes." IEEE transactions on visualization and computer graphics 18.6 (2012): 914-924.
- [10] Bernardini, Fausto, et al. "The ball-pivoting algorithm for surface reconstruction." IEEE transactions on visualization and computer graphics 5.4 (1999): 349-359.