

LiDAR 기반 포인트 클라우드 획득 및 전처리

□ 이옥규, 심재영 / 울산과학기술원(UNIST)

요약

LiDAR는 조사된 빛이 피사체에 반사되어 돌아오는 시간을 측정하여 거리를 측정하는 장비로서, 넓은 영역과 긴 거리에 걸쳐 실세계의 정밀한 3차원 정보를 포인트 클라우드 데이터로 제공해 준다. 이러한 대용량 포인트 클라우드 데이터는 자율주행 자동차, 로봇, 3차원 지도 제작 등 컴퓨터 비전 기술을 이용하는 다양한 분야에 널리 활용될 수 있다. 그러나 유리 구조물을 포함하는 피사체를 LiDAR로 촬영하는 경우, 유리면에서 빛의 반사로 인한 가상의 포인트가 생성되어 실제 3차원 정보를 왜곡하는 문제가 있다. 포인트 클라우드의 후속 처리를 효율적으로 수행하기 위하여, 이러한 왜곡을 제거하는 전처리 기술이 필요하다. 본 고에서는 LiDAR의 취득 원리와 3차원 포인트 클라우드의 특성을 고찰하고, 유리 반사로 인한 왜곡된 가상의 포인트를 자동으로 검출하고 제거하는 새로운 연구 주제를 소개한다.

I. 서론

LiDAR(Light Detection And Ranging)를 비롯하여 스테레오 카메라, 3D 스캐너, RGB-D 센서 등 실세계의 3차원 정보를 획득하는 다양한 센서와 기술이 개발되고 있다. 각각의 방식은 사용되는 목적과 환경에 따라 장단점을 지닌다. 예를 들어 3D 스캐너는 주로 레이저나 LED를 조사하고 물체에 반사되는 패턴을 카메라로 분석하여 데이터를 얻기 때문에 LiDAR에 비하여 측정 거리가 짧지만 정밀한 데이터를 취득할 수 있다[1]. 반면 LiDAR는 비교적 넓은 범위의 3차원 정보를 포인트 클라우드(point cloud) 형태로 획득할 수 있기 때문에 자율주행 분야에서 물체 인식이나 3차원 지도 생성 등에 활용 가능하다 [2,3].

LiDAR 기반 포인트 클라우드를 효율적으로 활용하

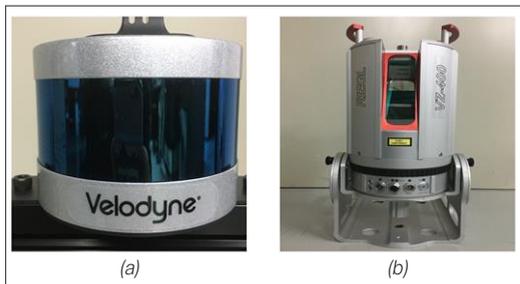
기 위한 다양한 연구들이 이루어지고 있다. 포인트 클라우드에서 노이즈를 제거하거나, 서로 다른 위치에서 취득한 데이터를 정합하기 위해서 포인트의 특징(feature)을 찾는 연구가 있다[4]. 최근에는 딥러닝 기술을 적용한 3차원 물체 인식 및 분류 분야에도 널리 활용되고 있다[5]. 이처럼 통상의 포인트 클라우드는 측정 장비에서 직접 샘플링된 데이터를 목적에 맞게 전처리 과정을 거친다. 포인트 클라우드 전처리에는 노이즈 제거를 포함하여 다양한 기법들이 있다[6].

본 고에서는 대표적인 3차원 측정 장비인 LiDAR의 특징과 취득 원리를 설명한다. 아울러 LiDAR로 획득한 3차원 포인트 클라우드 데이터의 전처리 과정 중 하나로서 유리 반사가 일어나는 특수한 상황에서 왜곡을 자동으로 검출하고 제거하는 연구를 소개한다.

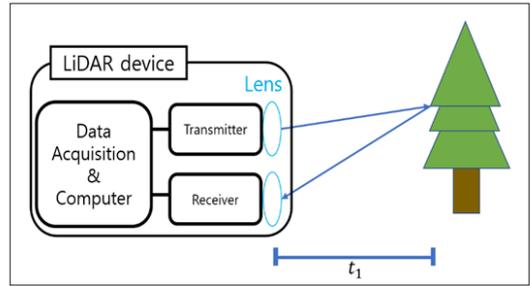
II. LiDAR와 3차원 포인트 클라우드

1. LiDAR의 원리 및 특징

<그림 1>은 LiDAR 장비의 예로 Velodyne사의 Puck-Lite[8]와 Reigl사의 VZ-400[12]을 보여준다. LiDAR가 다른 3차원 데이터 취득 기법들에 비해 갖는 가장 큰 장점은 높은 해상도(resolution)와 긴 측정 거리를 이용하



<그림 1> LiDAR 장비 예. (a) Velodyne사의 Puck-Lite[8], (b) Reigl사의 VZ-400[12]



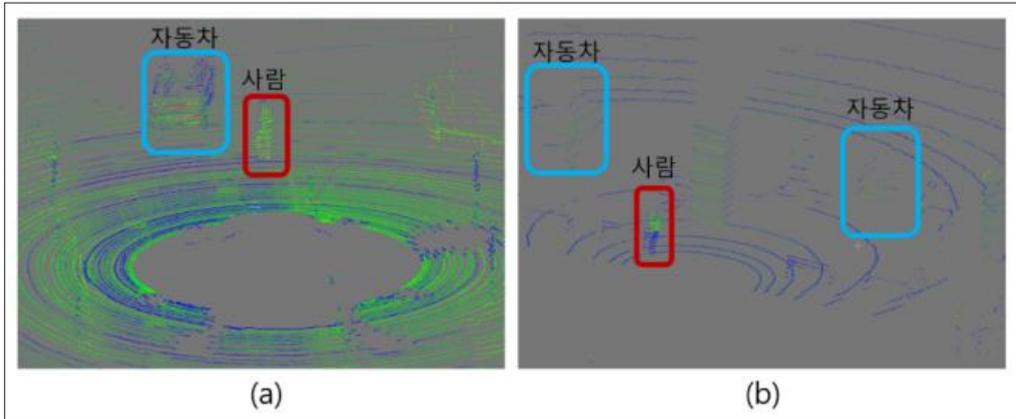
<그림 2> TOF 기반 LiDAR 원리

여 더 넓고 정확하게 주변 상황을 인지할 수 있다는 점이다. 또한 기존의 카메라와 달리 레이저 펄스를 직접 쏘고 인지하는 능동적 센서이기 때문에 빛이 없는 어두운 상황에서도 잘 작동한다는 특징이 있다.

LiDAR는 <그림 2>와 같이 레이저 펄스를 조사하고 피사체에 반사된 펄스를 수신할 때까지의 시간을 측정하여 거리를 측정하는 TOF(Time Of Flight) 방식을 주로 이용한다. TOF 방식과는 다르게 주파수 변조를 이용하거나 위상 변이를 이용하여 거리를 측정하는 장비도 있다. TOF 방식에서 거리 d 는 식 (1)과 같이 측정되며, c 는 빛의 속도, Δt 는 빛의 왕복 시간을 나타낸다.

$$d = c \times \frac{\Delta t}{2} \quad (1)$$

LiDAR는 고정식과 회전식으로도 구분할 수 있다. 회전식 LiDAR는 회전하는 모터로 360도 주변 환경의 데이터를 취득할 수 있다. 고정식 LiDAR는 회전하는 기계식 장치가 없고 회전식 LiDAR에 비해 저렴하고 소형화가 가능하다. 현재의 자율주행 자동차는 회전식 LiDAR가 전반적으로 많이 쓰이고 있다. 현재 많이 사용하는 기계식 LiDAR들은 수직(Polar)으로 최대 FOV와 채널 수 그리고 수평(Azimuthal)으로 몇 도(°)의 해상도를 가지는지를 기준으로 비교한다.



<그림 3> LiDAR로 취득한 3차원 포인트 클라우드 영상 예. (a) HDL-64E[7], (b) Puck-Lite[8]

2. 3차원 포인트 클라우드

<그림 3>은 수직 채널의 수가 64개인 HDL-64E[7]와 16개인 Puck-LITE[8] LiDAR로 샘플링한 사람과 자동차를 포함하는 3차원 포인트 클라우드 영상의 예를 보여준다. LiDAR로 취득한 3차원 포인트 클라우드에서는

가까운 물체가 멀리 있는 물체에 비해 조밀하게 샘플링되는 특징이 있다. 또한, 멀리 있는 물체일수록 반사되어 돌아오는 신호의 강도가 약해지고 큰 노이즈를 포함하기 쉽다. LiDAR를 이용하여 얻은 포인트 클라우드에는 3차원 좌표와 함께 반사되어 돌아온 신호의 강도를 나타내는 반사도 세기(intensity) 정보도 포함되어 있다.



<그림 4> 컬러 정보를 포함한 포인트 클라우드 영상의 예. Reigl VZ-400[12]으로 취득

〈그림 3〉 (a)의 지면을 보면 포인트 클라우드의 색이 녹색과 파란색으로 비교적 반사도 세기가 낮고, 자동차 변호판 부분은 붉은색으로 비교적 높은 세기를 보인다. 반사도 세기에 영향을 미치는 요인들은 여러가지가 있다. 예를 들어 레이저 펄스가 통과하는 매질, 물체의 표면과 펄스가 만나는 각도, 대상 물체 표면의 반사율에 따라서 돌아오는 신호의 세기가 결정된다. LiDAR의 반사도 세기를 이용한 연구는 항공 분야에서 많이 진행되었다. 하늘에서 촬영한 데이터의 경우에 지면의 종류(숲, 도로, 콘크리트 등)에 따라서 다른 세기를 보이는데 이를 활용하여 지면의 종류를 판별하는 연구가 이루어졌다[9].

한편, LiDAR 장비는 기본적으로 3차원 좌표 정보를 주지만 RGB 카메라와 캘리브레이션이 되어 있다면 각 포인트에 컬러 데이터도 추가로 제공할 수 있다. 〈그림 4〉는 VZ-400[12]으로 취득한 컬러 정보를 포함한 3차원 포인트 클라우드 영상의 예를 보여준다. 이러한 컬러 정보는 3차원 영상을 보다 실감나게 표현할 수 있어 다양한 분야에 연구되고 있다. 포인트 클라우드 클러스터링(clustering)을 수행할 때, 공간적인 정보에 컬러 정보를 함께 이용하였고[10], 유리 반사로 인한 가상의 포인트 제거 과정에서도 컬러 정보를 활용하였다[11].

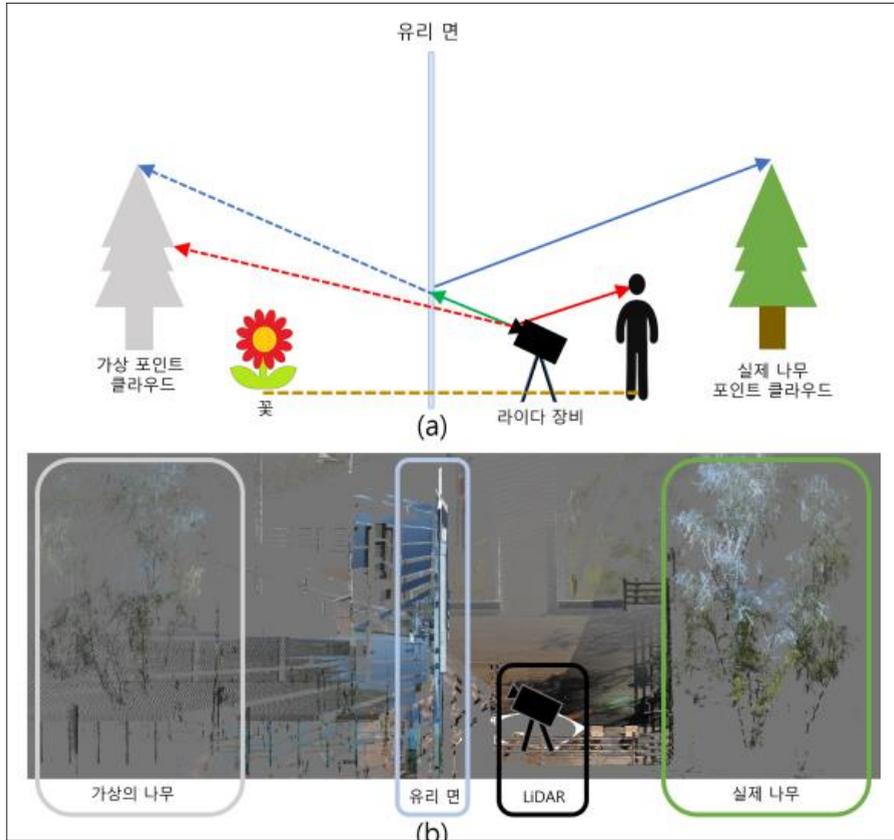
III. 3차원 포인트 클라우드 전처리

LiDAR로 직접 취득한 3차원 포인트 클라우드 데이터는 노이즈나 불균일한 샘플링 문제를 갖고 있기 때문에, 효율적인 후속 처리를 위하여 통상 데이터를 가공하는 전처리 과정을 거친다. 예를 들어, 일정한 거리 내에 특정 개수 이상의 포인트가 없다면 Outlier로 간주하거나 포인트 클라우드 데이터에서 평균과 분산의 통계적 특성을 이용하여 노이즈를 제거하는 기법이 있다[13]. 이런 기법을 이용하면 LiDAR 센서에서 멀리 떨어져 너무

sparse하게 샘플링된 outlier들을 효과적으로 제거할 수 있다. 반대로 취득된 포인트들이 너무 많아서 문제가 되는 경우도 있다. LiDAR로 취득한 3차원 포인트 클라우드 영상은 통상 수십만 개의 포인트를 생성한다. 3차원 지도를 만드는 경우와 같이 포인트 클라우드를 계속해서 축적해야 하는 응용 분야에서는 포인트의 수가 급격하게 늘어나기 때문에 다운샘플링으로 데이터의 수를 줄여주는 경우가 많다. 예를 들어 포인트 클라우드를 복셀(voxel) 단위로 나누어서 각 복셀 내에 있는 포인트들의 평균을 이용하여 다운샘플링을 한다. 복셀의 크기를 조절하여 다운샘플링 정도를 조절 가능하다. 본고에서는 유리 구조물을 포함한 피사체를 LiDAR로 촬영 시 유리 반사로 인하여 발생하는 왜곡된 가상의 포인트를 자동으로 검출하고 제거하는 연구를 소개한다.

1. LiDAR 취득 시 유리 반사 왜곡

LiDAR에서 조사된 레이저 펄스가 유리와 만나면 일부는 유리를 통과하지만 일부는 유리면에서 반사된다. 〈그림 5〉의 (a)에서 보이는 바와 같이 LiDAR에서 조사된 레이저 펄스가 녹색 실선 방향으로 진행을 하다가 유리를 만나면 일부는 파란색 점선 방향으로 유리를 통과하여 계속 진행하지만, 일부는 파란색 실선 방향으로 유리면에서 반사가 일어난다. 반사된 빛이 실제 나무에 부딪힌 다음 LiDAR로 돌아온 경우 LiDAR 센서는 유리면의 존재를 모르기 때문에 유리면을 기준으로 실제 물체의 반대편에 가상의 회색 나무를 생성하게 된다. 〈그림 5〉의 (b)는 VZ400으로 실세계를 직접 취득한 포인트 클라우드의 예를 보여주며, 왼쪽에 보이는 바와 같이 실제로 존재하지 않는 가상의 나무들이 생성됨을 확인할 수 있다. 이러한 왜곡된 가상의 포인트들은 포인트 클라우드의 다양한 후속 처리 기법이 제대로 동작하지 못하게 하는 요인이 된다.



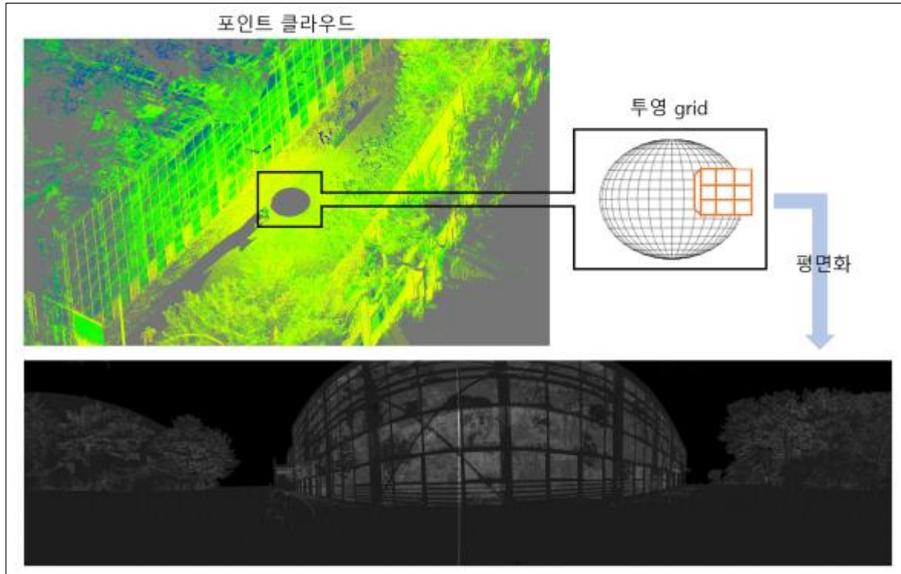
<그림 5> 3차원 포인트 클라우드의 유리 반사 왜곡. (a) LiDAR 촬영 시 유리 반사로 인한 왜곡된 가상의 포인트 클라우드 생성 원리. (b) VZ400로 측정된 유리 반사 왜곡 예

2. 3차원 포인트 클라우드의 유리 반사 왜곡 제거

이러한 왜곡된 가상의 포인트를 자동으로 검출하고 제거하기 위한 연구가 이루어졌다[11, 14, 15]. 먼저 LiDAR의 취득 원리와 특성에 기반하여 반사를 야기하는 유리면을 찾는다. <그림 5>를 보면 실제 포인트 클라우드인 사람과 LiDAR 사이의 경로에서는 빨간 실선으로 한 번의 샘플링만 일어나지만, 가상 포인트 클라우드인 회색 나무와의 LiDAR 사이의 경로에서는 유리면과 나무에서 총 두 번의 샘플링이 일어난다. 포인트

클라우드를 LiDAR 원점의 구형 격자 구조에 투영하고, 각 격자 영역 별로 레이저 펄스의 샘플링 횟수를 측정함으로써 유리 영역을 검출한다. <그림 6>에 보이는 바와 같이, 유리 영역에서 샘플링 횟수가 현저하게 많이 나타나는 것을 볼 수 있다.

검출된 유리면을 활용하여 왜곡된 가상의 포인트 클라우드를 예측한다. 기본적으로 유리면을 기준으로 대칭의 위치에 포인트가 존재하면 가상 포인트의 가능성이 있다. 그러나 <그림 5>에서 꽃과 사람의 예와 같이 실제 물체가 유리면을 기준으로 서로 대칭인 위치에 놓일 수도 있기 때문에 추가적으로 대칭 위치의 포인트 간

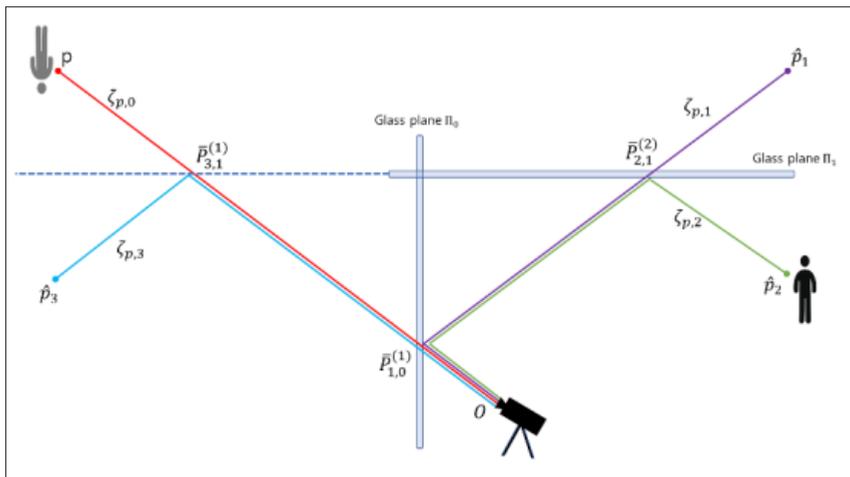


<그림 6> 포인트 클라우드 투명 및 유리 영역 검출

의 기하학적 유사도(geometrical similarity)를 측정한다. 대표적으로 Fast Point Feature Histogram(FPFH) [4]을 기하학적 특징 추출에 이용하였다. 즉, 유리면을 기준으로 LiDAR와 반대편에 존재하는 임의의 포인트에 대하여 유리면에 대칭 위치에 포인트가 존재하고,

해당 포인트와 기하학적 유사도가 높으면 임의의 포인트는 왜곡된 가상의 포인트일 확률이 높다고 판단한다.

단일 유리면이 아닌 다중 유리면이 존재하는 경우는 문제가 훨씬 복잡해진다. 유리면이 여러 개 존재하는 경우에 유리면 사이에서 발생하는 다양한 반사 경로를 모

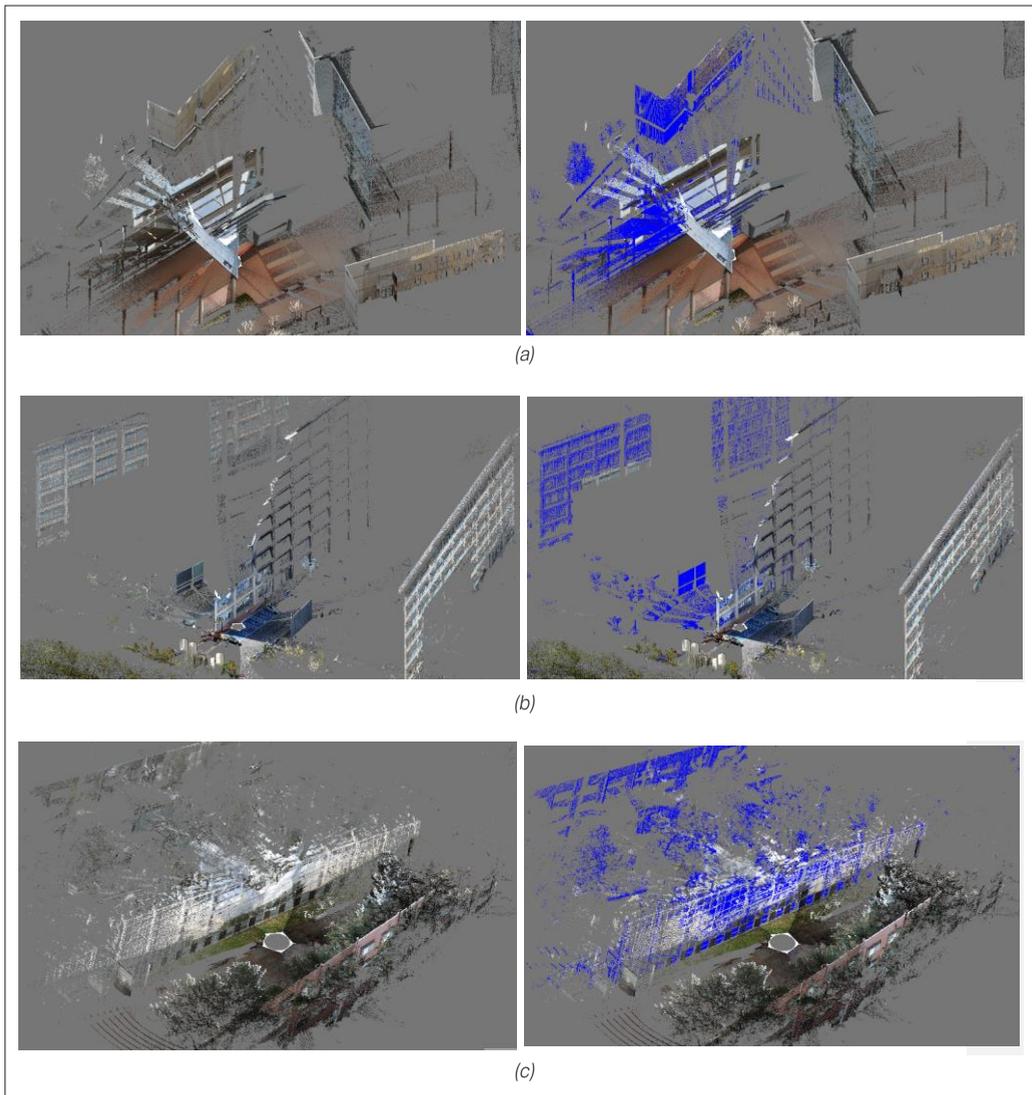


<그림 7> 다중 유리면에서의 다중 반사 경로

두 예측하고, 가상의 포인트를 예측하는 최적의 경로를 탐색하는 기법이 제안되었다[15]. <그림 7>에서는 두 개의 유리면이 존재하는 경우, 주어진 LiDAR의 위치와 실제 사람에 대하여 총 4개의 경로를 각각 빨간색, 보라색, 초록색, 파란색으로 표시하였다. 그리고 회색 사람은 초록색 경로를 따라 빛이 유리면에서 두 번 반사되

어 생성되는 가상의 포인트 클라우드임을 알 수 있다.

<그림 8>은 유리 반사로 인한 가상의 포인트 클라우드 검출 결과를 보여준다. 그림에서 보이듯이 유리면에서 반사로 인하여 생성된 가상의 자동차, 건물, 나무들이 잘 검출된 것을 확인할 수 있다. 검출한 가상의 포인트를 제거함으로써 LiDAR로 취득한 포인트 클라우드 영



<그림 8> 검출된 가상의 포인트 클라우드. 왼쪽의 원본 포인트 클라우드에서 검출한 가상의 포인트를 파란색으로 표시한 영상을 오른쪽에 보여준다.

상의 정확도를 높이고 후속 처리의 효율을 높일 수 있다.

IV. 결론

본 고에서는 실세계의 3차원 공간 정보 획득에 널리 사용되고 있는 LiDAR의 원리와 이를 이용하여 취득한 포인트 클라우드 데이터의 특징을 고찰하였다. 3차원 포인트 클라우드 데이터를 효율적으로 처리하기 위한

다양한 전처리가 필요함을 살펴보고, 최근에 연구된 유리 반사로 인한 왜곡된 가상의 포인트를 자동으로 검출하고 제거하는 연구를 소개하였다. 이러한 기술은 포인트 클라우드 데이터를 활용하는 자율주행 자동차, 드론, 로봇 등의 응용 분야에서 중요하게 사용될 것으로 사료된다. 아울러 최근에는 딥러닝 기술을 3차원 포인트 클라우드에 적용하는 연구도 진행되고 있어, 딥러닝 기술을 이용한 포인트 클라우드 전처리 연구도 더욱 관심을 받을 것으로 예상된다.

참고 문헌

- [1] J. Vagovsky, I. Buransky, A. Gorog, "Evaluation of Measuring Capability of the Optical 3D Scanner", *Procedia Eng.*, 2015, pp. 1198-1206
- [2] T. Shan, B. Englot, "LeGO-LOAM: Lightweight and Ground-Optimized Lidar Odometry and Mapping on Variable Terrain", *IEEE IROS*, 2018, pp. 4758-4765
- [3] A. Geiger, P. Lenz, R. Urtasun, "Are we ready for autonomous driving? The KITTI vision benchmark suite," *IEEE CVPR*, 2012, pp. 3354-3361
- [4] R. B. Rusu, N. Blodow, M. Beetz, "Fast Point Feature Histograms (FPFH) for 3D registration" , *IEEE ICRA*, 2009, pp. 3212-3217
- [5] X. Chen, H. Ma, J. Wan, B. Li and T. Xia, "Multi-view 3D Object Detection Network for Autonomous Driving," *IEEE CVPR*, 2017, pp. 6526-6534
- [6] H. Xianan, S. Jin, M. Wang, W. Jiang, L. Gao, L. Xiao, "A review of algorithms for filtering the 3D point cloud", *Signal Process. Image Com.*, 2017, Vol 57, pp.103-112
- [7] Velodyne "Velodyne HDL-64E". [Online]. Available: <https://velodynelidar.com/products/hdl-64e/>
- [8] Velodyne "Velodyne Puck Lite LiDAR". [Online]. Available: <https://velodynelidar.com/products/puck-lite/>
- [9] W. Y. Yan and A. Shaker, "Radiometric Correction and Normalization of Airborne LiDAR Intensity Data for Improving Land-Cover Classification," in *IEEE Trans on Geo. Rem. Sen.*, Dec. 2014 vol. 52, no. 12, pp. 7658-7673
- [10] J. Papon, A. Abramov, M. Schoeler and F. Wörgötter, "Voxel Cloud Connectivity Segmentation - Supervoxels for Point Clouds," *IEEE/CVPR*, 2013, pp. 2027-2034
- [11] J. Yun and J. Sim, "Cluster-Wise Removal of Reflection Artifacts in Large-Scale 3d Point Clouds Using Superpixel-Based Glass Region Estimation," *IEEE ICIP*, 2019, pp. 1780-1784
- [12] RIEGL, "RIEGL VZ-400 3D terrestrial laser scanner." [Online]. Available: <http://www.riegl.com/nc/products/terrestrialscanning/produktdetail/product/scanner/5/>
- [13] R. B. Rusu, S. Cousins, "3D is here: Point Cloud Library (PCL)," *IEEE ICRA*, 2011, pp. 1-4
- [14] J. Yun and J. Sim, "Reflection Removal for Large-Scale 3D Point Clouds," *IEEE CVPR*, 2018, pp. 4597-4605
- [15] J. -S. Yun and J. -Y. Sim, "Virtual Point Removal for Large-Scale 3D Point Clouds with Multiple Glass Planes," in *IEEE TPAMI* 2021 vol. 43, no. 2, pp. 729-744

필자소개



이옥규

- 2021년 : 울산대학교 전기전자공학과 공학사
- 2021년 ~ 현재 : UNIST 전기전자공학과 석사과정
- 주관심분야 : 3차원 영상처리



심재영

- 1999년 : 서울대학교 전기공학부 공학사
- 2005년 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부 공학박사
- 2005년 ~ 2009년 : 삼성전자 종합기술원 전문연구원
- 2009년 ~ 현재 : UNIST 인공지능대학원/전기전자공학과 교수
- 주관심분야 : 영상처리, 컴퓨터 비전, 3차원 영상처리