
Global Report

자율주행차를 위한 추상 맵 및 멀티채널 기반 도시지역의 LiDAR 시스템

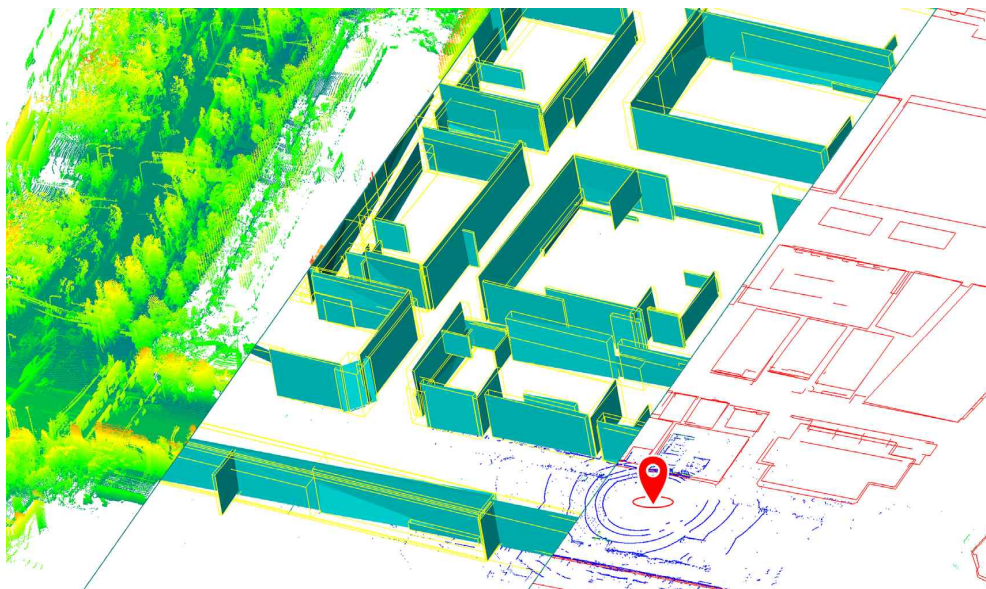
1. 개요
2. 다층 벡터 맵 생성
3. 확률 평면 표면 맵 생성
4. 실험결과
5. 결론 및 향후 연구

1. 개요

자율주행차량 기술(Autonomous vehicle technology)은 첫 도입 이후 지능형 운송시스템의 핵심 구성요소 중 하나로 주목받고 있다. 최근 몇 년 동안 이 분야에서 상당한 진전이 있었으며, 많은 관련 기업들이 이미 현장 테스트를 시작하였다. 자율주행의 중요한 요구사항 중 하나는 10여m 이내의 자신의 자동차 위치를 탐지할 수 있는 능력이다[1][2]. GNSS(Global Navigation Satellite Systems : 글로벌 네비게이션 위성시스템)는 공중에서 이러한 수준의 정확도를 구현할 수 있지만, 신호차단 및 다중경로 효과로 인해 밀집된 도시지역에서는 위치탐지 기능이 크게 저하될 수 있다. GPS에 대한 대안 또는 보조기술 중 하나는 비전(vision) 기법이 있다. 비전 기반 기술은 상당한 진전을 이루었지만, 여전히 이 기술은 기상조건, 조명변화 및 그림자 등으로 인해 어려움을 겪고 있는 상황이다. 많은 기업들은 이 기술을 가능한 저가로 구현하기 위해 Lidar(Light Detection and Ranging : 빛 감지 및 레인징) 기술을 이용하여 자율주행 차량의 인식기술을 개발하고 있다. Lidar 측정기술은 매우 정확하며, 넓은 시야와 아울러 다른 조명조건과 관련 없이 장거리를 커버할 수 있다. 많은 자동차 회사들은 이미 상용차에 이 기술을 장착하기 시작했다. Lidar 기반 기술은 SLAM(Simultaneous Localization and Mapping : 동시 지역화 및 매핑) 및 맵 기반 기술로 나눌 수 있다. SLAM 방법은 기능 기반[3]과 스캔 기반[4]의 두 가지 주요 범주로 나눌 수 있다. 일반적으로 SLAM을 기반으로 하는 기술은 오류누적 문제로 인해 발생하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위한 그간의 주요 연구를 시계열적으로 간단히 요약하면 다음과 같다:

- 2007 년, J. Levinson 등은 GPS, IMU, 및 주행거리계와 벨로다인 레이저 스캐너(Velodyne laser scanner)를 이용하여 오프라인 지도를 생성한바 있다. 이후 파티클 필터(particle filter)를 사용하여 맵 내의 지역화를 수행하였다. 나아가 연구자들은 이를 확장하여 확률적인 접근법을 개발하였다[1].
- 2008년, M. Bosse 등은 스캔의 로컬 매칭을 위한 ICP(Iterative Closest Point : 가장 가까운 지점) 알고리즘을 개발하고 하위 맵 등록을 위한 히스토그램 통합기능을 개발하였다[6].
- 2012년, B. Qin 등은 연석-교차 특징을 활용한 Odometry 정보와 융합하여 MCL(Monte Carlo Localization) 방법을 통해 도로관측 성능을 개선시켰다.
- 2016년 J.-H. Im 등은 건물의 모서리부분을 인지하지 못하여 발생할 수 있는 오류누적을 개선하였다. ALS(Airborne Laser Scanning)와 MMS(Mobile Mapping System)에 사용되는 원격감지 기술이 개발되면서 대규모 및 고정밀 맵이 널리 보급되고 있다[5].
- 기타 Magnusson 등은 3D 도메인에 NDT 아이디어를 확장하여 NDT에 대한 많은 변형을 제안하였으며, Tu 등은 이미지 및 비디오 압축기법을 이용하여 스트리밍 포인트 클라우드를 압축하는 방법을 제안하였다.

1㎡(1평방 킬로미터)는 약 3억 포인트로 구성되어 있기 때문에 도시규모의 3D 포인트 클라우드 데이터는 자율주행 차량의 저장장치에 저장하기에는 정보량이 너무 많다. 자체 지역화 응용프로그램의 경우 맵 구조의 크기가 작아야 하며, 동시에 지역화에 충분한 기능을 수행할 수 있어야 한다. 특히 고층건물 등과 같은 복잡한 구조가 많은 도시지역에서 이러한 구조는 Lidar에 의해 추출하기 쉬운 2D(선) 및 3D(평면)와 같은 기본요소를 명확하게 관찰할 수 있다. 이 연구에서는 대규모 3D 포인트 클라우드를 이전 맵으로 사용하는 대신 자율주행 차량의 2D 및 3D 지역화를 위한 두 가지 추상 맵 형식인 다층 2D 벡터 맵과 평면 표면 맵을 이용한다. 이러한 맵은 3D 포인트 클라우드에서 불확실성이 많은 선(벡터) 및 평면(평면 표면)을 추출하여 생성된다. 따라서 단일요소로 수천 개의 점을 추상화할 수 있어 맵 크기(2,500만 개에서 약 1,000개 요소로)를 크게 줄일 수 있는 특징이 있다. 지역화 단계에서 Lidar는 관찰된 데이터를 기반으로 위치를 얻기 위해 추상적인 기능들을 등록한다. 대규모 3D 포인트 클라우드가 아닌 제안된 추상 맵 형식을 이용한 차량 자체 현지화의 개념을 [그림 1]에 나타낸다. 실험결과와 추상지도 기반 지역화의 제안된 개념의 효과를 증명한다.

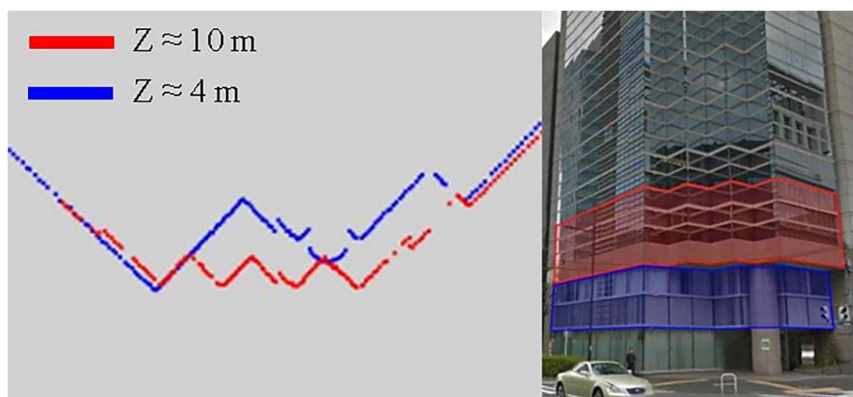


* 자료 : Ehsan Javanmardi et al., “Autonomous vehicle self-localization based on abstract map and multichannel LiDAR in urban area”, IATSS Research 43 (2019) 1-13, p.2.

[그림 1] 추상 맵 형식을 이용한 차량 자체 현지화의 개념

2. 다층 벡터 맵 생성

건물의 2D 설치 공간은 일반적으로 지면에서 건물로 덮인 표면의 영역으로 계산한다. 그러나 [그림 2]에 나타낸바와 같이 각 건물은 높이가 다를 경우 건물의 특정 높이(예: 발자국)에 따라 2D 맵 생성 시 차량에 설치된 레이저 스캐너가 건물의 높이를 잘못 계산할 수 있어 차량의 자체 지역화 문제가 발생할 수 있다. 이를 위해 원래 맵과 비교하여 다른 표면을 사용할 수 있다. 이 연구에서는 다층 2D 벡터 맵 (multi-layer 2D vector map)을 기반으로 한 차량의 위치에 대한 정확도를 유지하면서 맵 크기를 감소시킬 수 있는 방법을 제시한다. 제안된 구조에서, 2차원 지역화를 위한 이전 맵으로서 대규모 3D 또는 2D 포인트 클라우드를 저장하여 이용하는 대신, 건물의 3D 포인트 클라우드로부터 추출된 2D 벡터로 맵에 저장된다. 따라서 각 건물의 높이가 각기 다른 footprints가 맵에 저장되므로 더 나은 지역화를 기대할 수 있다. 다중 레이어(multi-layer) 라는 용어는 맵 생성에서 특정 개수의 레이어를 고려한다는 의미는 아니다.



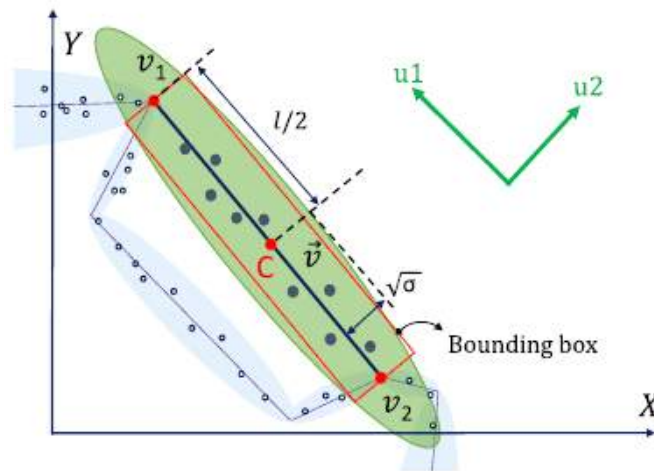
* 자료 : Ehsan Javanmardi et al., “Autonomous vehicle self-localization based on abstract map and multichannel LiDAR in urban area”, IATSS Research 43 (2019) 1-13, p.2.

[그림 2] 건물의 다양한 레이어(높이 Z)에 대한 설치 공간

맵의 2D 벡터에서 ND를 생성하려면 각 벡터에 대한 평균 및 공분산을 정의해야 한다. 정규분포로 표시된 특정 벡터에서 R2에서 점 p 를 관찰할 확률은 식(1)과 같이 계산할 수 있다.

$$P(p) = \frac{1}{2\pi\sqrt{|\Sigma|}} \exp\left(-\frac{(p-\bar{\mu})^T \Sigma^{-1} (p-\bar{\mu})}{2}\right) \dots\dots\dots (1)$$

여기서 Σ 는 공분산 행렬, μ 는 평균벡터 값을 의미한다. 벡터의 경우 그들의 중심점(그림 3 참조)은 평균값으로 선택되며, Eigen-decomposition 기법을 이용하여 공분산 행렬을 정의하였다.



※ 굵은 파란색 실선은 건물 벽을 나타내는 벡터를, 빨간색 박스는 벡터의 정확도를 얻기 위한 경계를, 녹색 벡터공간은 벡터에 대한 부정확도를 개선하는 데 사용되는 Eigen-vectors $\{\mu_1, u_2\}$, 녹색 타원은 벡터의 중심점과 그 불확실성을 기준으로 생성된 정규분포를 나타낸다.

* 자료 : Ehsan Javanmardi et al., “Autonomous vehicle self-localization based on abstract map and multichannel LiDAR in urban area”, IATSS Research 43 (2019) 1-13, p.4.

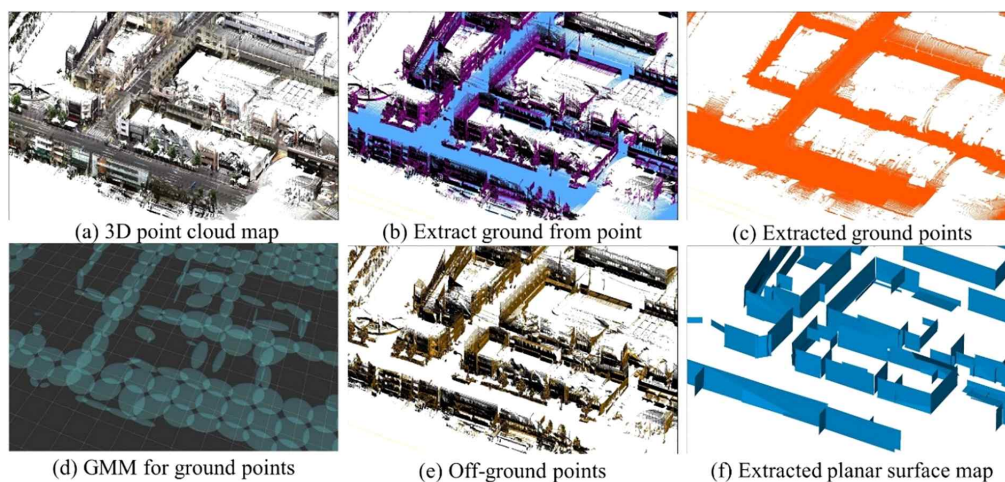
[그림 3] 벡터공간의 불확실성 계산방법의 개념도

3. 확률 평면 표면 맵 생성

벡터 매핑 단계에서 지면점이 제거된 2D 벡터 맵 기반 지역화와는 달리, 지면은 평면표면 맵을 이용하여 3D 지역화에서 필수적인 역할을 한다. 이를 기반으로 차량의 위치와 높이를 정의하게 된다. 따라서 지표면을 제거하는 대신 지역화를 적극적으로 고려할 수 있다. 아울러 평면 지표면 맵을 나타내는 기본 구성요소는 건물 벽 및 지표면이 된다. 평면 지표면 맵을 나타내는 기본 구성요소인 평면 표면 맵의 생성절차를 [그림 4]에 나타낸다.

- (a)는 평면 지표면 맵을 생성하는 첫 번째 단계로서 3D 포인트에서 지표면을 정의할 수 있는 맵을 만드는 것이다.
- (b) 및 ©는 접지면을 추출하는 절차로서 일반적으로 지표면은 너무 많은 포인트를 포함하고 있어 변수가 너무 많다. 지반 맵을 생성하기 위해 지면은 먼저 큰 그리드(10m×10m)로 나뉜다.
- (d)는 지표면의 수직분포로서 MMS 포인트 클라우드에서 지면 추출 후, 나머지 점은 건물 벽을 추출하는 데 사용된다.
- (e)는 평면을 추출하기 위해 3D 건물 재구성이 아닌 국소화 단계에서 레이저 스캐너에 의해 관찰할 수 있는 주요특징을 정의하는 것이다.

- (f)는 각 평면의 건물 벽 또는 그것의 일부를 나타낸 것으로서 추출된 각 평면에 대해 평면의 지면부분, 중심, 폭, 길이 및 법선과 같이 평면의 해당 ND평균 및 공변량을 나타낸다.

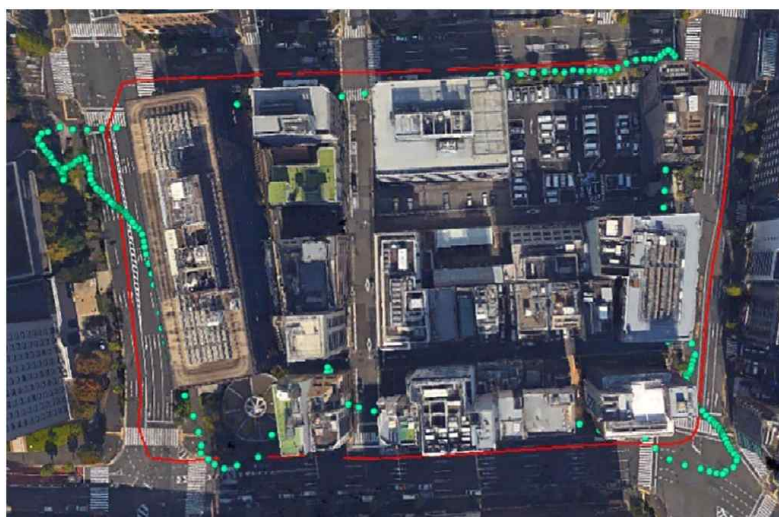


* 자료 : Ehsan Javanmardi et al., “Autonomous vehicle self-localization based on abstract map and multichannel LiDAR in urban area”, IATSS Research 43 (2019) 1-13, p.7.

[그림 4] 평면 표면 맵의 생성절차

4. 실험결과

제안된 맵 형식 및 지역화 방법의 실험결과이다. 제안된 지도형식을 사용하여 현지화 방법의 성능을 평가하기 위해 일본 도쿄 중부 Chiyoda-ku 지역의 대표적인 도시인 Hitotsubashi 부근에서 실험을 실시하였다. 실험지역의 위성사진(Hitotsubashi 부근)을 [그림 5]에 나타낸다. 실험경로는 650m의 길이와 해당 지역의 GPS 기반 지역화의 정확도를 기반으로 하였다.



* 자료 : Ehsan Javanmardi et al., “Autonomous vehicle self-localization based on abstract map and multichannel LiDAR in urban area”, IATSS Research 43 (2019) 1-13, p.8.

[그림 5] 실험지역의 위성사진_Hitotsubashi 부근

실험을 위해 동일한 경로에서 차량을 4회 운행하였으며, 다양한 맵 형식을 이용하여 2D 및 3D 지역화 정확도를 비교하였다. Velodyne VLP-16은 높이 2.3m의 차량 상단에 장착하였다. (그림 6 참조)



★ 자료 : Ehsan Javanmardi et al., “Autonomous vehicle self-localization based on abstract map and multichannel LiDAR in urban area”, IATSS Research 43 (2019) 1-13, p.9.

[그림 6] 실험 설정: (왼쪽)3D 매핑에 사용되는 MMS; (오른쪽)현지화를 위한 실험차량

100m 범위, 360도 수평 및 30도 수직 시야를 제공하는 Velodyne VLP-16 레이저 스캐너는 2.3m 높이에 설치하여 10Hz에서 회전하도록 설정되어 1초에 10개의 스캔을 수집한다. 실험에서 차량의 최대속도는 47km/h로 하였다. 이러한 가상실험에서 실제 지상(도로)의 상황을 정의하는 것은 어려운 일이기 때문에 3D 포인트 클라우드 기반 지역화 방법을 접지로 채택하였다. 맵의 크기, 지역화 정확도 및 처리시간 등 세 가지 파라미터를 이용하여 제안된 맵 구조를 평가하였다.

5. 결론 및 향후 연구

이 연구에서는 Velodyne VLP-16을 가진 일본 도쿄의 밀집된 도시지역에서 이와 상응하는 가상 현지화 방법을 실험을 통해 구현하였다. 다층 2D 벡터 맵 기반 지역화는 20cm의 평균 2D 오차를 나타냈으며, 평면 표면 맵 기반 지역화는 약 43cm의 오차를 나타냈다. 이를 기반으로 3D 공간에서 차량의 주행상태를 추정할 수 있었다. 이 연구의 결과는 추상 맵이 차량 현지화 응용프로그램의 중복 포인트 클라우드 맵에 대한 대안이 될 수 있음을 입증하였다. 추후에는 다층 2D 벡터 맵과 평면 표면 맵을 통합하여 지역화에 중점을 두고 제안된 프레임워크를 농촌 환경과 같은 다른 시나리오로 확장하여 연구를 진행할 것이다. 자율주행 차량을 위해서는 정확성이 가장 중요한 사항이다. 글로벌 네비게이션 위성시스템(GNSS)은 도심의 지역화 및 매핑 방법의 오류 등의 문제로 인해 복잡한 도심지역에서는 정확도를 달성하기 어렵다. 이 연구에서는 3D 광 검출 및 Lidar 기술을 이용하여 최첨단 현지화 접근방식을 통해 주행차량 주변을 모니터링 할 수 있는 기술을 소개하였다. 이 연구결과는 국내 대도시의 도심, 고속도로 및 자동차 전용 도로에서의 자율주행 자동차를 위한 정책에 벤치마킹 자료로 활용할 수 있을 것이다.

[참고문헌]

- [1] J. Levinson, M. Montemerlo, S. Thrun, Map-based precision vehicle localization in urban environments, Robotics: Science and Systems, vol. 4, 2007, p.1.
- [2] M. Javanmardi, E. Javanmardi, Y. Gu, S. Kamijo, A novel approach for post-calibration of mobile mapping systems using intensity reflection and airborne imagery, Proceeding of 96th Annual Meeting Transportation Research Board (TRB), No.17-01877, 2017.
- [3] F. Moosmann, C. Stiller, Velodyne SLAM, Proceeding of 2011 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV) 2011, pp.393-398.
- [4] M. Attia, Y. Slama, M.A. Kamoun, On performance evaluation of registration algorithms for 3d point clouds, Proceeding of 2016 13th International Conference on Computer Graphics, Imaging and Visualization 2016, pp.45-50

- [5] J.-H. Im, S.-H. Im, G.-I. Jee, Vertical corner feature based precise vehicle localization using 3D LIDAR in urban area, Sensors 16 (8) (2016) 1268.
- [6] M. Bosse, R. Zlot, Map matching and data association for large-scale two-dimensional laser scan-based SLAM, Int. J. Robot. Res. 27 (6) (2008) 667-691.
- [7] B. Qin, Z.J. Chong, T. Bandyopadhyay, M.H. Ang, E. Frazzoli, D. Rus, Curb-intersection feature based Monte Carlo Localization on urban roads, Proceeding of 2012 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) 2012, pp.2640-2646.

<원문제목> Autonomous vehicle self-localization based on abstract map and multichannel LiDAR in urban area

<원문출처> IATSS Research 43 (2019) 1-13