

계층적 분할을 이용한 고속 평면 추출 방법

Fast Plane Extraction using the Hierarchical Segmentation Method

*연수용¹, #도낙주¹

*Sooyong Yeon¹, #Nakju Lett Doh(nakju@korea.ac.kr)²

¹ 고려대학교 전자전기공학과

Key words : plane extraction, 3D SLAM, hierarchical segmentation, TOF Camera

1. 서론

이동로봇의 동시 위치인식 및 지도작성 기술인 SLAM(Simultaneous Localization And Mapping)은 지난 이십여 년 간 로봇의 가장 주요한 연구 분야 중 하나였다. 2000년대를 즈음하여 2 차원에 대한 SLAM 기술이 완숙기에 접어들면서, SLAM 기술은 점차 3 차원 공간에 대해서도 확장되기 시작하였다[1,2,3].

3 차원 공간 상에서 원센서 정보(raw sensor information)를 그대로 사용하여 SLAM 을 수행할 경우, 연산시간의 문제를 야기 할 뿐만 아니라 오차가 누적되는 고유의 특성으로 인해 광역 공간에서 좋은 성능을 발휘할 수 없다. 따라서 3 차원 SLAM 연구자들은 특징점을 추출할 필요가 있으며, 3 차원 공간 상의 대표적인 특징점인 평면의 추출 방법을 연구하기 시작하였다[1,4]. 하지만 3 차원 평면을 추출하기 위해서는 많은 점 정보를 처리해야 하는데 이로 인한 연산 시간과 메모리 문제는 실시간 SLAM 을 구현하는데 가장 큰 어려움 중 하나이다.

이에 본 연구에서는 계층적 분할 방법과 TOF(Time-of-Flight)카메라의 특징을 이용하여, 연산시간을 크게 단축하면서도 충분히 강한 평면 추출 방법을 제안하고자 한다.

2 장에서는 TOF 카메라의 활용 방법과 계층적 분할 방법을 이용한 평면 추출 방법을 제안할 것이며, 3 장에서는 그 방법을 이용한 간단한 실험 결과를 보일 것이다. 마지막으로 4 장에서는 우리의 연구를 정리하도록 하겠다.

2. 평면의 추출

2.1. 데이터의 획득

우리는 연구를 위해 적외선의 Time-of-flight 원리를 이용한 Mesa Imaging 社의 SR-4000 을 사용하였다. 이 카메라는 매 프레임마다 176x144 개의 거리 정보와 흑백의 영상 정보를 제공한다[5]. 이 거리 정보는 2 차원 정보이지만, 각 픽셀의 방향 정보를 알 수 있게, XYZ 의 3 차원 데카르트 좌표계로 어렵지 않게 가져갈 수 있다. 이러한 특징은 3 차원 공간상의 점 구름(point cloud)을 획득하기 위해 흔히 사용되는 pan-tilt 모듈을 장착한 레이저 스캐너와 차별화 된다. 2 차원 공간 상의 이웃 정보들은 3 차원 공간 상에서도 이웃하기 때문에, TOF 카메라를 이용할 경우, 상대적으로 정보의 처리가 쉬운 2 차원 공간 상에서 분할할 수 있다. 2 차원 정보와 3 차원 정보는 1 대 1 대응하며 손쉽게 필요한 영역으로 매칭하여 수행 가능하다.

2.2. 점 구름의 분할

평면 추출의 가장 중요한 이슈는 잡음(noise) 정보의 제거와 서로 다른 평면에 포함되는 점 정보의 분할이다. 이전 연구자들은 이를 위해 RANSAC[6]과 region growing 을 이용하였다. 이 방법은 가장 정확한 평면을 추출해내기 위해 매우 우수한 방법이지만 복잡도(Complexity)의 문제로 인해 실시간 SLAM 을 수행하기에 어려움을 겪는다. 평면을 이루기 위해서는 3 개의 점을 선택해야 하기에 $O(n^3)$ 이 필요하고, 평면을 구성한 이후 모든 점에 대하여 적합도를 판단해야 하기 때문에 $O(n)$ 이 필요하다. 그렇기 때문에 평면의 추출을 위한 RANSAC 의 복잡도는 $O(n^4)$ 이 된다.

Region growing 이 어느 정도 이루어져 영역이 커졌을 경우에, 수만 개의 점 구름(point cloud) 정보를 처리해야 하는 3 차원 평면 추출에는 적합하지 않음을 쉽게 알 수 있다.

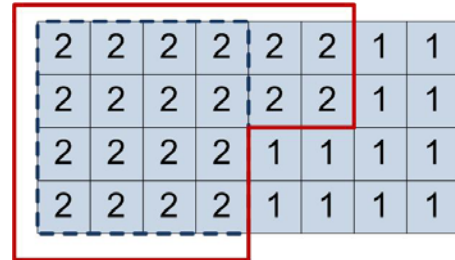


Fig. 1 계층적 분할의 예

3 차원 공간을 가장 효율적으로 분할하는 방법은 여러 개의 정육면체로 분할하는 것이다. 기존의 연구[1]는 작은 정육면체로 분할하여 각각의 정육면체의 점 구름들에 RANSAC 을 적용하여 잡음을 제거하고 평면을 추출한 후, region growing 을 수행하며 영역을 확장시키는 방법을 사용하였다. 하지만, RANSAC 의 이용과 지나치게 작은 공간의 분할은 연산시간의 증가를 야기시킨다. 반대로 공간을 크게 분할할 경우 연산 시간의 증가를 불러일으킬 것이다.

이에 우리는 Fig. 1 과 같은 계층적 방법을 제안하고자 한다. 그림의 숫자는 카메라 정보의 각 픽셀의 거리 정보를 의미한다. 먼저 우리는 4x4 의 공간으로 분할한 후 각각의 평면을 추출한다. 파란색 점선과 같이 균일한 공간에 대해 큰 분할을 수행하여도 충분히 좋은 결과가 획득되겠지만, 반대편의 공간의 경우, 점 구름의 분포와 평면 사이에는 큰 오차가 발생할 것이다. 이 때 일정 수준 이상의 오차가 발생한 공간에 대해서 4 개의 2x2 공간으로 재분할을 수행한다. 이후 유사한 평면에 대해 결합을 시도한다. 이러한 방법을 이용하여 우리는 어렵지 않게 빨간색 공간의 평면을 획득할 수 있다. 이 방법은 매우 간단하지만 시간과 정확도에 대해 좋은 결과를 보이고, 이 방법을 이용한 결과를 3 장에 보이도록 하겠다.

2.3. 평면의 추출

2.1 에서 언급했듯이 거리 정보는 3 차원의 데카르트 좌표계로 가져갈 수 있으며, 데카르트 좌표계에서 2.2 에서 분할된 각 클러스터들의 3 차원 평면 정보를 추출할 수 있다. 우리는 평면의 추출을 위해 주성분분석(PCA)를 이용하였다.

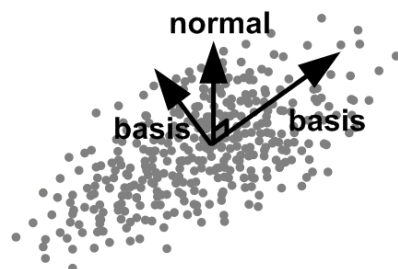


Fig. 2 point cloud 의 PCA 의 결과

Fig. 2에서 볼 수 있듯이 3차원 점 구름 집합의 주성분 분석의 결과는 3개의 벡터로 나타난다. 그리고 각각의 열 벡터는 서로 직교(orthogonal)하는데, 1,2 열의 벡터는 평면을 이루는 2개의 basis가 되며, 3 열의 벡터는 그 평면의 법선 벡터(normal vector)가 된다. 이 법선 벡터는 $ax+by+cz+d=0$ 의 평면의 방정식의 요소가 된다. 더불어 PCA의 복잡도는 $O(np^2 + p^3)$ 이며, 우리는 3차원 정보를 다루기 때문에 $O(9n+27)$ 이라 할 수 있다. 이는 실시간 추출을 위해 매우 적합한 방법임을 알 수 있다.

마지막으로 분할된 각 평면을 결합해야 하는데, 이 역시 벡터의 성질을 이용하여 쉽게 해결할 수 있다. 직교하는 두 벡터의 내적은 0이며, 같은 방향의 벡터의 내적은 1이다. 즉, 1에 가까운 벡터의 내적을 갖고, 두 평면 상의 거리가 0에 가까운 두 평면은 같은 평면이라 말할 수 있다.

평면의 추출을 위해 우리는 다음과 같은 과정을 거쳤다. 이에 따른 실험 결과를 3장에 보이도록 하였다.

3. 실험 결과

앞에서 언급했듯이 우리는 TOF 카메라의 거리 정보를 활용하여 MATLAB 실험을 수행하였으며 아래의 Fig. 3은 그 결과를 나타낸다.

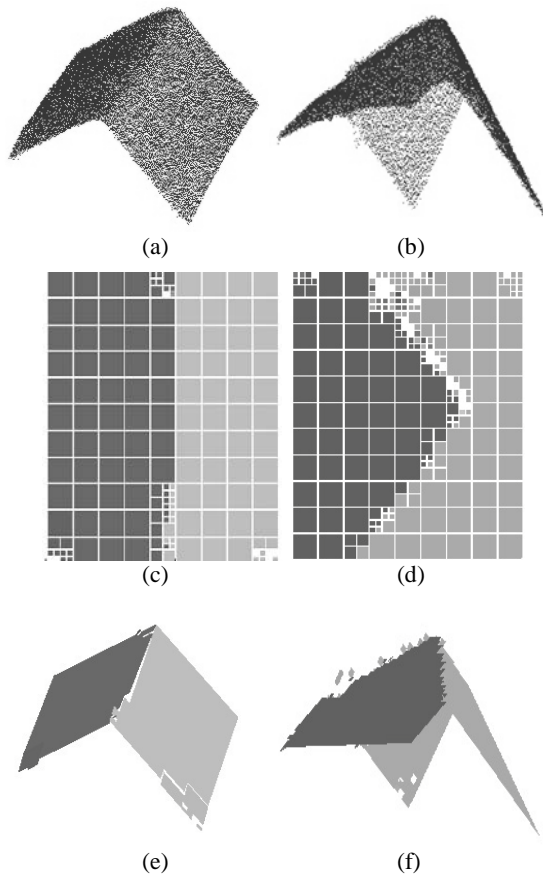


Fig. 3 (a)(b) point cloud (c)(d) 2D segmentation (e)(f) result

(a)와 (b)는 2개의 거리 정보에 대한 데카르트 좌표계의 점 구름이며, (c)와 (d)는 2차원 분할을 나타낸다. (e)와 (f)는 평면간의 결합이 완료된 최종 결과를 나타낸다.

Table 1 Time & Accuracy

	2 평면	3 평면
수행 시간	1.33s	1.91s
평균 오차	0.69cm	0.94cm
최대 오차	4.56cm	8.79cm

Table 1은 여러 개의 실험 데이터에 대한 평균 성능을 나타낸 결과이다. 이 결과는 실험의 용이함을 위해 MATLAB에서 수행한 결과로 추후 C++언어로 구현되었을 경우 실시간 SLAM이 가능한 시간이 나올 것으로 사료된다. 또한 평균 오차는 1cm 미만으로, 충분히 강인한 결과를 보인다.

4. 결론

이 연구는 실내 환경에서 3D SLAM을 수행하기 위한 선행 연구로써, 실시간 SLAM을 수행할 수 있도록 충분히 빠른 성능을 보이면서도, 충분히 정확한 평면의 추출을 위해 진행되었다. 평면 추출을 위한 흔히 사용되는 알고리즘에 센서와 간단한 아이디어를 적용한 새로운 알고리즘을 제안하였고, 실험을 통해 그 성능을 입증하였다.

본 연구는 이후 평면을 특징점으로 이용하는 3차원 SLAM에 적용될 것이며, 최적의 파라미터 설정을 위한 연구를 같이 진행할 것이다.

후기

본 연구는 (고려대학교 로봇자율주행기술 전문인력양성센터)를 통한) 지식경제부/한국산업기술진흥원 융복합형로봇전문인력양성사업의 지원으로 수행되었음.

참고문헌

- Weingarten J., "Feature-Based 3D SLAM," Ph.D thesis, EPFL, September, 2006.
- Weingarten J., and Siegwart R., "EKF-based 3D SLAM for structured environment reconstruction," IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 3834-3839, 2005.
- Cole D. M., and Newman P. M., "Using laser range data for 3D SLAM in outdoor environments," Proceedings 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1556-1563, 2006.
- Hahnel D., Burgard W., and Thrun S., "Learning compact 3D models of indoor and outdoor environments with a mobile robot," Robotics and Autonomous Systems, vol.44, no.1, 15-27, 2003.
- <http://www.mesa-imaging.ch>
- Fischler M.A., and Bolles R. C., "Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography," Commun. ACM 24, 1981.