

3차원 직선을 이용한 위치 추적 및 지도 작성

*황성목, 장국현, 서일홍
 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과

e-mail : mostoo67@hanmail.net, imzgx@incor1.hanyang.ac.kr, ihsuh@hanyang.ac.kr

Simultaneous Localization and Mapping using 3D lines

Sung-Mok Hwang, Guoxuan Zhang, *Il Hong Suh
 Department of Electronics Computer Engineering
 Hanyang University

Abstract

This paper presents 6-DOF stereo EKF-SLAM using 3D lines as SLAM features. When extracting dual Plücker matrix through two planes meeting each other, there exists duality between the dual Plücker matrix and Plücker line coordinates. In turn, the matrix is transformed to the Plücker line coordinates. The line's end points extracted by Plücker line coordinates quickly converge due to stereo camera. Although robot moves, lines are constantly retro-projected from left and right images. We experiment real stereo data images via this method in Hanyang university at IT/BT 6th floor.

I. 서론

SLAM(Simultaneous Localization And Mapping)은 이동로봇(또는 자동차)이 자기 위치를 인식하고 동시에 주변 환경에 대한 지도를 작성하는 것을 말한다. 대부분의 비전 기반 SLAM의 연구는 feature 정보로 점을 사용하였다. 실내 환경에서는 직선을 이용한 SLAM이 점 정보를 이용한 SLAM에 비해 인간에게 더 유용한 정보를 제공할 수 있다는 연구가 제시되었다. 직선을 이용한 Mono-EKF SLAM[1]의 경우 오직 바닥직선과 수직직선에 대해서 지도를 작성하고 있다. 본 논문에서는 stereo camera를 쓸 경우 disparity를

이용하여 바로 직선의 depth정보 추출이 가능한 점과 실내 환경에 모든 직선을 처리 할 수 있는 Plücker line coordinates[2][3]와 dual Plücker matrix을 이용하여 SLAM하는 방법을 제시하고자 한다.

II. 본론

2.1 모션모델

로봇의 현재 pose는 \mathfrak{R} 이고 ν 는 로봇 odometer 측정값이다. 이동 후의 로봇의 pose는 $\mathfrak{R}^+ = f(\mathfrak{R}, \nu)$ 이며 로봇 pose에 대한 표현은 다음과 같이 정의된다. $\mathfrak{R} = [x^r q^r]^T$ 이고 x 는 로봇의 현재 위치이고 q 는 로봇의 quaternion이다. Odometer vector는 $\nu = [\delta x^r, \delta e^r]^T = [\delta x, \delta y, \delta z, \delta \phi, \delta \theta, \delta \psi]^T$ 이다.

2.2 직선 초기화

카메라 위치를 왼쪽 $c_1 = (t_L^c, q_L^c)$ 오른쪽 $c_2 = (t_R^c, q_R^c)$ 로 정의하고 p_1, p_2, p_3, p_4 는 이미지 상에 투영된 직선의 끝점이다. p_1, p_2, p_3, p_4 가 트래킹 되었을 때 왼쪽 이미지상의 끝점 p_1, p_2 와 c_1 을 이용하여 하나의 평면 π_1 을 만들고 오른쪽 이미지상의 끝점 p_3, p_4 와 c_2 를 이용하여 다른 하나의 평면 π_2 를 만들어 그림1과 같이 dual Plücker coordinates를 만들 수 있다.

$$L^* = \pi_1 \pi_2^T - \pi_2 \pi_1^T \quad (1)$$

식(1)을 이용하여 dual Plucker coordinates를 구할 수 있고 dual Plucker coordinates와 Plucker line coordinates는 다음과 같은 원소들의 duality를 이용하여 식(2)과 같이 Plucker line coordinates $L[3]$ 을 구할 수 있다.

$$l_{12} : l_{13} : l_{14} : l_{23} : l_{24} : l_{34} = l_{34}^* : l_{42}^* : l_{23}^* : l_{14}^* : l_{13}^* : l_{12}^* \quad (2)$$

복도 환경에서 직선을 매칭하여 disparity가 없는 경우 무한 직선으로 초기화가 된다. 이런 문제 때문에 모든 직선에 inverse depth[4]의 특성을 Plucker line coordinates에 적용하였다.

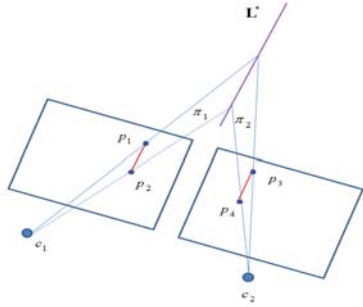


그림 1. Feature Initialization

2.3 업데이트

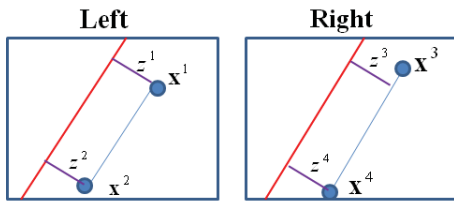


그림 2. Observation model

왼쪽 카메라에 대한 innovation 과정과 EKF업데이트를 구한 후 오른쪽 카메라에 대해서도 똑같이 구하였다[5]. 그러므로 본 논문에서는 왼쪽 카메라에 대한 부분만 설명하겠다. 왼쪽 카메라의 예측된 직선은 $l = [l_1 \ l_2 \ l_3]$ 이고 추정된 직선으로부터 뽑힌 직선의 끝점은 x^1, x^2 이다. 이로부터 innovation을 구하는 방법은 식(3)과 같다.

$$z = \begin{bmatrix} z^1 \\ z^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{l_{left}^T x^1}{l_3 \sqrt{l_1^2 + l_2^2}} \\ \frac{l_{left}^T x^2}{l_3 \sqrt{l_1^2 + l_2^2}} \end{bmatrix} \quad (3)$$

EKF에서 업데이트의 과정은 식(4)과 같다. R 은 이미지 픽셀 노이즈이고 G_x 는 로봇과 Plucker line

coordinates에 관한 자코비안이고 G_y 는 innovation에 관한 자코비안이다.

$$\begin{aligned} Z &= G_x P G_x^T + G_y R G_y^T \\ K &= -P G_x^T Z^{-1} \\ \hat{X} &\leftarrow \hat{X} + Kz \\ P &\leftarrow P + K G_x P (= P - K Z K^T) \end{aligned} \quad (4)$$

III. 구현

실험 환경은 다음과 같다. Pioneer 3-AT로봇 위에 스테레오 카메라를 설치해 실험하였고 입력으로 받은 데이터는 로봇의 odometer와 좌우에서 얻은 영상이 포함됐다. 이미지는 320x240 크기이고 픽셀 노이즈 0.2를 넣어 Matlab toolbox[6]을 확장하여 구현하였다.

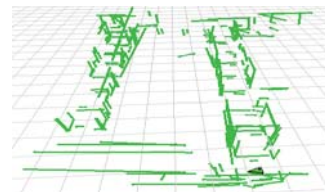


그림 3. Stereo plucker SLAM 결과

IV. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문은 영상에서 직선의 두 끝점과 카메라의 옵티컬 센터 등 세 점을 사용하여 좌우 각각 평면을 만들고 두 평면이 만났을 경우 하나의 직선으로 표현이 가능한 점을 이용하였다. Disparity가 없는 직선을 적용하기 위하여 inverse depth[4]의 특성을 직선에 적용시켜서 SLAM을 하였다. 향후 수렴이 잘 되지 않는 직선들을 강인하게 수렴하도록 연구 할 예정이다.

참고문헌

- [1] G. Zhang, I. H. Suh, "Building a Partial 3D Line-based Map using a Monocular SLAM", ICRA, 2011
- [2] J. Sola, "Undelayed initialization of line segments in Monocular SLAM", IROS, 2009
- [3] R. Hartley, A. Zisserman, Multiple View Geometry, p69~p72
- [4] J. Civera, A. Davison and J. Montiel, "Inverth depth parametrization for monocular SLAM", IROS, 2008
- [5] J. Sola, "BiCamSLAM: Two times mono is more than stereo", IROS, 2007
- [6] <http://homepages.laas.fr/jsola/JoanSola>