

어안렌즈의 큐브맵 변환 공간을 이용한 실내 Visual Odometry 추정

이경모¹, 정윤수², 박순용^{1*}

경북대학교¹, 한국전자통신연구원²

leekmo98@naver.com, yoonsu@etri.re.kr, *sypark@knu.ac.kr

Indoor Visual Odometry Estimation Using Cubemap Projection of Fisheye Images

Lee Kyung Mo, Chung Yun Su, Park Soon Yong*

KyungPook National Univ, Electronics and Telecommunications Research Institute

요약

본 논문은 실내 환경에서 어안 렌즈 카메라와 큐브맵 기반의 영상 처리 기법을 이용하여 모바일 로봇의 위치를 추정하는 Visual Odometry 방법을 제안한다. 어안 렌즈의 왜곡과 시야각 손실 문제를 EUCM과 큐브맵 모델로 보완하고, 지면을 수직으로 바라보는 가상의 GPI 영상을 생성해 Differential Motion Model로 odometry를 추정한다. 로봇 속도가 빨라지며 발생하는 motion blur 문제는 ORB-SLAM2 기반 stereo odometry와 EKF를 통해 보완하였다. 제안된 방법은 평균 위치 오차 약 0.07m로 높은 정확도를 보였다.

I. 서론

자율 이동 로봇(Autonomous Mobile Robots, AMR)은 실외 환경에서는 RTK-GPS와 같은 위성 항법 시스템을 통해서 로봇의 위치를 파악할 수 있다. 하지만 빌딩이나 공장 내부와 같은 실내 환경에서는 GPS 신호가 부정확하거나 완전히 차단되는 경우가 많기 때문에 신호 수신이 어렵다는 한계가 존재한다. 따라서 실내 환경에서는 로봇이 외부 위치 정보 없이도 스스로의 위치를 추정하고, 주변 지도를 생성할 수 있는 SLAM(Simultaneous Localization And Mapping) 기술이 핵심적으로 사용된다.

본 논문에서는 지면에 가깝게 붙어서 작업을 수행하는 모바일 로봇에 시야각이 넓은 어안 렌즈 카메라를 이용해서 실내 환경에서 효율적으로 로봇의 위치를 추정하는 Visual Odometry 방법을 제안한다. 낮은 차체에 어안 렌즈 카메라를 부착하여 사용하기 때문에 영상에서 지면이 차지하는 비율이 많아서 실내의 무작위 바탕 패턴으로 인한 특징점 추적의 어려움과 조명 변화에 대한 대응의 어려움이 있다. 본 논문에서는 이러한 환경에서 어안 렌즈 카메라를 이용하기 위해서 그림 1과 같이 EUCM(Enhanced Unified Camera Model)[1]과 큐브맵(Cubemap)[2]모델을 사용하여 시야각 손실을 최소화 한 영상 정보를 기반으로 지면을 수직으로 바라보는 가상의 영상을 만든다. 이를 기반으로 모바일 로봇의 운동학적 모델인 Differential Motion Model을 이용하여 로봇의 위치를 추정한다. 하지만 로봇의 이동 속도가 빨라지면 motion blur가 발생해 정확도가 현저히 떨어진다는 한계가 있기 때문에, 큐브맵의 다른 면을 활용해 ORB-SLAM2의 Stereo를 통해 얻은 odoemtry 정보를 추출하여 두 가지 odoemtry를 Extended Kalman Filter(이하 EKF)를 통해서 속도에 대해서도 강인하게 로봇의 자기 위치를 추정하는 Visual Odometry 추정 방법을 제안한다.

II. 본론

어안렌즈는 시야각이 넓어 많은 정보를 얻을 수 있는 대신 왜곡이 심하고 이러한 왜곡을 제거하기 위해 Undistortion 과정을 거치면 영상의 시야각이 소실되거나 영상의 해상도가 작아진다는 단점이 존재한다. 본 논문

에서는 EUCM 투영 모델과 여러 개의 가상의 펀홀 카메라로 구성된 큐브맵에 사상해서 시야각 손실 없이 펀홀 카메라 투영 모델로 사용하였다. 로봇의 전방에 두 개의 어안렌즈 카메라를 스테레오로 구성하고 로봇의 후방에 한 개의 어안렌즈 카메라를 전방의 스테레오 카메라 중 왼쪽 카메라와 수평을 이루는 위치에 부착하여 큐브맵의 Bottom-Face와 Front-Face의 아래 일부분을 합하여 지면을 수직으로 바라보는 가상의 영상인 Ground Plane Image(이하 GPI)[3]를 생성한다. 로봇이 이동하면서 로봇 전 후방에 생성된 GPI의 특징점들의 움직임을 통해서 얻은 두 개의 모션 벡터들을 Differential Motion Model[4]에 적용하여 로봇의 이동과 회전을 계산해서 추정한 visual odometry인 Ground Plane Odometry를 추정하였다.

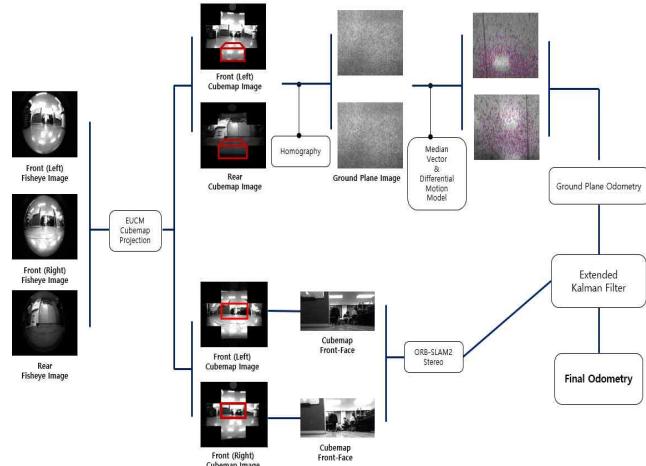


그림 1. 논문에서 제안하는 어안렌즈를 활용한 로봇의 visual odometry 알고리즘 구조

하지만 로봇의 이동속도가 빨라지거나 조명 변화나 갑작스러운 바닥면 패턴 변화와 같은 여러 환경적인 요인에 의해서 motion blur가 발생하거나 특정점 추적에 실패한다는 단점이 발생한다. 그럼 2는 모바일 로봇이 빠른 속도로 이동하였을 때 Ground Plane Odometry는 Odometry 추정에 실패하였다. 따라서 로봇의 전방에 구성한 스테레오 카메라를 이용해 큐브맵 Front-Face의 나머지 윗부분을 추출해서 ORB-SLAM2 Stereo[5]를 통해서 visual odometry를 추정한 결과와 EKF를 통해서 보완하였다. Ground Truth 데이터와 ground plane odometry와 ORB-SLAM2를 EKF한 데이터의 평균 위치 오차가 약 0.07(m)로 정확하였다.

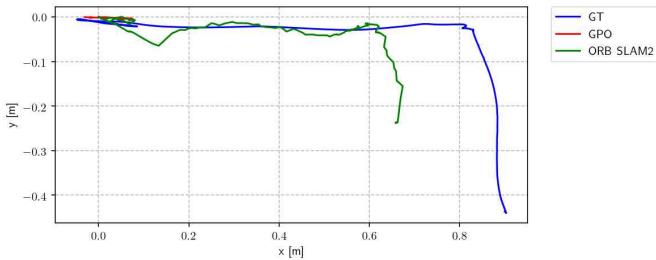


그림 2 . 빠른 속도에서 Ground Plane Odometry와 ORB-SLAM2 odometry 추정 결과

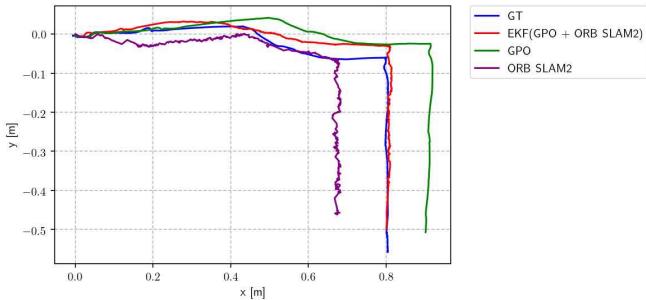


그림 3 . Odometry 비교 그래프

III. 결론

본 논문에서는 실내 환경에서 지면에 가깝게 붙어서 작업을 수행하는 모바일 로봇의 자기 위치 추정을 위하여 왜곡과 시야각 손실 없이 어안 렌즈 카메라 영상을 활용해 visual odometry를 추정하는 연구를 진행하였다. EUCM 투영 모델과 큐브맵 모델을 이용해 어안렌즈의 왜곡과 시야각 손실을 줄였고 큐브맵 영상의 일부 면을 활용해 지면에 수직인 가상의 영상인 GPI를 생성하고 Differential motion model을 통해 로봇의 위치와 회전을 계산해 odometry를 추정하였다. 그리고 큐브맵의 나머지 면을 활용해 ORB-SLAM2 stereo 알고리즘을 통해 생성된 odometry 정보와 EKF를 통해 로봇이 빠른 속도로 이동하거나 환경 변화에 의해 발생하는 motion blur에 의한 odometry 추정의 어려움을 보완하였다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2025년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받았습니다. 수행된 기초연구사업(No. 2021R1A6A1A03043144) 그리고 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 과학기술사업화진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임('학연협력플랫폼구축 시범사업' RS-2023-00304695, RS-2023-00304776).

참 고 문 헌

- [1] Khomutenko, B.; Garcia, G.; Martinet, P. An Enhanced Unified Camera Model. *IEEE Robot. Autom. Lett.* 2016, 1, 137 - 144
- [2] Wang, Yahui, et al. "CubemapSLAM: A piecewise-pinhole monocular fisheye SLAM system." *Asian Conference on Computer Vision*. Cham: Springer International Publishing, 2018
- [3] S. Park, U. Lee, and S. Baek, "Visual Odometry of a Low-Profile Pallet Robot Based on Ortho-Rectified Ground Plane Image from Fisheye Camera," *Applied Sciences*, vol. 13, iss. 16, p. 9095, 2023
- [4] Dhaouadi, Rached, and A. Abu Hatab. "Dynamic modelling of differential-drive mobile robots using lagrange and newton-euler methodologies: A unified framework." *Advances in robotics & automation* 2.2 (2013): 1-7.
- [5] Mur-Artal, Raul, and Juan D. Tardós. "Orb-slam2: An open-source slam system for monocular, stereo, and rgbd cameras." *IEEE transactions on robotics* 33.5 (2017): 1255-1262.