

Measurement Model 이 EKF SLAM 의 일관성에 미치는 영향 분석 The Analysis of the effect of measurement models on the consistency of EKF SLAM

*이영훈¹, #도낙주²

*Young Hoon Lee¹, #Nakju Doh(nakju@korea.ac.kr)²

¹ 고려대학교 전자전기공학과, ² 고려대학교 전기전자전파공학과

Key words : line-based EKF, EKF consistency, Observability

1. 서론

1990년대 초반 이동로봇의 위치추정에 통계학적인 접근법[1]이 제안된 이후로 로봇공학자들뿐 아니라 다양한 분야의 연구자들이 SLAM(Simultaneous Localization and Mapping) 분야의 다양한 문제들을 풀기 위해 활발한 연구가 진행되고 있다.

로봇의 위치를 추적하기 위해 다양한 형태의 알고리즘이 제안되었다. 비선형 방정식으로 나타나는 운동모델과 계측모델의 확률분포를 정확히 예측하기 위한 알고리즘[2]이 제안되었고, Gaussian probability distribution 을 가정하지 않은 확률적 모델에 기반한 알고리즘[3]이 제안되기도 하였다.

하지만 여러 알고리즘 중에서 이동로봇의 위치와 센서에 대한 불확실성에 대한 정량적 표현이 가능하고, 회귀적인 방법을 이용하여 최적 값을 추정해 낼 수 있다는 점에서 EKF 기반의 알고리즘이 가장 널리 사용되고 있다.

그러나, Guoquan 의 논문[4]에서 지적하듯이 EKF 는 선형모델에만 적용이 가능하다는 점과 모든 에러 모델의 확률분포에 Gaussian 분포를 가정한다는 점, 그리고 발산의 가능성이 커서 안정성이 낮다는 약점을 가지고 있다. 그중에서도 EKF SLAM 의 성능 저하에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 발산에 취약하다는 점이다. 최근 EKF SLAM 의 발산의 원인에 관한 연구와 이를 극복하기 위한 방법에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

이의 연장선으로 본 논문에서는 EKF SLAM 의 일관성에 Measurement Model 이 미치는 영향에 대해 논한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 절에서 관련 선행 연구에 대해 서술하고, 3 절에서는 EKF SLAM 의 일관성을 분석하는 이론적 방법에 대해 서술한다. 4 절에서는 실험 환경의 구성과 결과에 대해 설명한다. 마지막으로 5 절 결론에서는 본 논문의 요약과 공헌에 대해 서술하고 추후 연구 방향에 대해 논한다.

2. 관련 연구

[2]에서는 EKF SLAM 에서 로봇이 정지한 상태에서 새로운 지표를 반복해서 관찰하는 경우, 로봇의 진행방향에 대한 불확실성이 처음 발견시보다 더 줄어드는 문제를 지적해 내고 이것이 EKF SLAM 의 일관성을 깨뜨리는 원인이라고 지적했다.

이어서 [5], [6]에서는 EKF SLAM 의 일관성을 깨뜨리는 주요 원인이 로봇의 진행 방향 오차라는 점을 밝혀냈다. 특히, [6]에서는 Jacobian 이 계산되는 지점에서의 차이가 Information Gain 의 차이를 만들고 이것이 발산을 야기하는 원인이라고 밝혔다.

Table 1. Rank of observability of different filters

	Ideal EKF	Std. EKF	Line-based EKF
Non linear model	2	2	2
Linearized model	2	3	2

최근 [7]에서 EKF 의 Observability 분석을 통하여 위 두 논문([5],[6])에서 밝혀냈던 발산 현상에 대한 이론적 설명을 제시하였다. [7]에서는 EKF SLAM 의 일관성을 깨뜨리는 주 원인으로 비선형 방정식이 선형화 과정을 거치면서 Standard EKF 의 Observability Matrix 의 Rank 가 증가함을 지목하였다. (Table 1 참조) 이는 잘못된 정보를 바탕으로 로봇이 업데이트를 수행하는 결과를 초래하였다. 결론적으로 이는 로봇의 진행방향의 일관성을 깨뜨리고 전체 시스템의 발산을 초래하는 것이 밝혀졌다.

3. 시뮬레이션 환경 및 결과

[4], [5], [6]에서 공통적으로 제시하였듯이, EKF SLAM 의 일관성을 실험하는데 있어서 계측 모델(Measurement Model) 과 계측 모델의 인자(Parameter) 설정이 중요한 역할을 한다고 알려져 있다. 하지만 어느 계측모델이 실제 실험환경과 더 유사한지에 관한 연구는 행해지지 않은 것으로 알고 있다.

따라서, 본 논문에서는 계측 모델이 EKF SLAM 의 일관성에 미치는 영향을 알아보기로 두 가지 모델을 이용한 실험과 그 비교를 통하여 그 영향을 알아보기로 한다.

Fig.1 은 시뮬레이션 환경을 보여준다. 이동로봇은 2 개의 지표를 관찰하며 SLAM 을 수행한다. [8]에서 설명하듯 한 개의 지표를 관찰하며 SLAM 을 수행할 시에는 observability 를 유지할 수 없으므로, 실험의 정확성과 편의를 위해 2 개의 지표를 관찰하도록 하였다.

실험 1에서는 [6]과 마찬가지로 일정한 값의 컨트롤 오차와 계측 오차를 이용한다. 반면에 실험 2에서는 [7]과 동일하게 속도와 계측거리에 비례한 오차 모델을 사용하여 EKF SLAM 을 수행한다. 사용된 오차 범위는 Table 2 에 나온 것과 같다. (0 는 표준편차를 나타낸다.)

그림 2 는 Constant Noise Model 을 이용하여 그림 1 의 지도를 6000 초 주행 한 후의 Ideal EKF 의 각도 오차와 각도의 3 sigma boundary 를 보여준다. 그림 2 에서 보이듯이 3 sigma boundary 가 줄어들을 볼 수 있다. 이는 초기 단계에서 발견한 불확실성이 잘못된 정보에 의해 계속하여 줄어들음을 의미한다.

반면, 같은 환경에서 Variable Noise Model 을 이용하여 동일한 시간 동안 시뮬레이션을 실행한 경우 Ideal EKF 의 3 sigma boundary 가 초기의 그것에 수렴하는 결과를 그림 3 에서 볼 수 있다. 이를 통하여 우리는 관측모델이 EKF SLAM 의 일관성 문제에 영향을 줄 수 있음을 밝혀 내었다.

Table 2. The value of noise models

Type Noise Model	Control Error		Measurement Error	
	σ_v	σ_w	σ_r	σ_b
Constant Noise	0.005m	0.005m	0.1m	5deg
Variable Noise	5% of linear velocity	5% of linear velocity	2% of measurement distance	2% of measurement distance

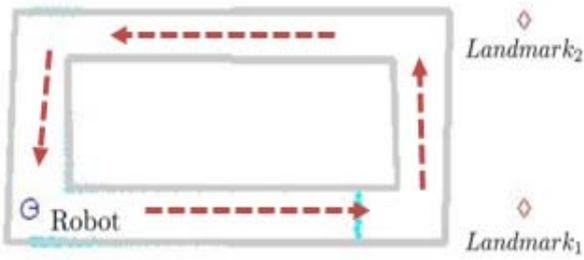


Fig.1 Simulation environment. A mobile robot performs SLAM with two unknown landmarks.

4. 결론

본 논문에서는 EKF SLAM 시스템의 발산을 초래하는 원인에 대한 논의를 하였다. 그 중에서도 특히 계측 모델의 차이가 EKF SLAM 시스템의 일관성에 미치는 영향에 대해 논하고 실험을 수행하였으며, [7]에서 제시한 바와 같이 Variable Noise Model 을 사용한 경우에 이론적인 결과에 부합하는 시뮬레이션 결과를 얻을 수 있다는 결론을 얻어냈다.

연구팀은 본 연구의 추후 연구 주제로 선기반(Line-based)의 EKF SLAM 시스템의 observability 를 분석하고 시뮬레이션과 실험을 통해 이론적 증명을 검증하고자 한다.

후기

본 연구는 (고려대학교 로봇자율주행기술 전문인력양성 센터를 통한) 지식경제부/한국산업기술진흥원 융복합형로봇전문인력양성사업의 지원으로 수행되었음.

참고문헌

1. R. Smith, M. Self, and P. Cheeseman, "Estimating uncertain spatial relationships in robotics," Autonomous Robot Vehicles, I.J. Cox and G.T. Wilfon, Eds, New York: Springer Verlag, 167-193, 1990.
2. S. Julier, J. Uhlmann, and H. F. Durrant-Whyte, "A New method for the nonlinear transformation of means and covariances in filters and estimators," IEEE Transactinos on Automatic Control, vol. 45, no. 3, 477-482, 2000
3. S. Thrun, W. Burgard, and D. Fox, Probabilistic Robotics. Cambridge, MA: The MIT Press, 2005
4. Guoquan P. Huang, Anastasios I. Mourikis, Stergios I. Roumeliotis., "On the complexity and Consistency of UKF-based SLAM," IEEE International Conference on Robotics and Automation, 4401-4408, 2009
5. Shudong Huang, and Gamini Dissanayake, "Convergence and Consistency Analysis for Extended Kalman Filter Based SLAM," IEEE Transaction on Robotics, 1036-1049, 2007.
6. Tim Bailey, Juan Nieto, Jose Guivant, Michael Stevens and Eduardo Nebot, "Consistency of the EKF-SLAM Algorithm," IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 3562-3568, 2006.
7. Guoquan P. Huang, Anastasios I. Mourikis, Stergios I. Roumeliotis., "Observability-based Rules for Designing Consistent EKF SLAM Estimators," The International Journals of Robotics Research, 2009
8. Lee, K.W., Wijesoma, W.S. and Guzman, J. I., "On the observability and observability analysis of SLAM."

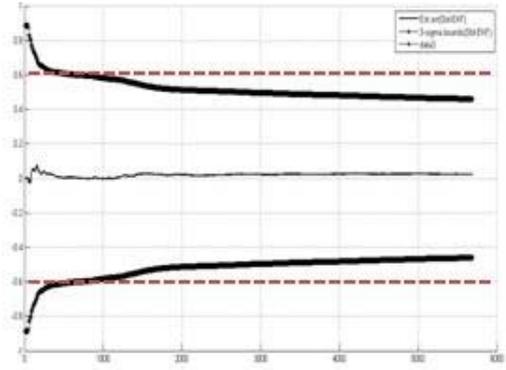


Fig.2 First simulation with the constant noise model. Outer lines represent the 3 sigma bound of the heading angle of a mobile robot.

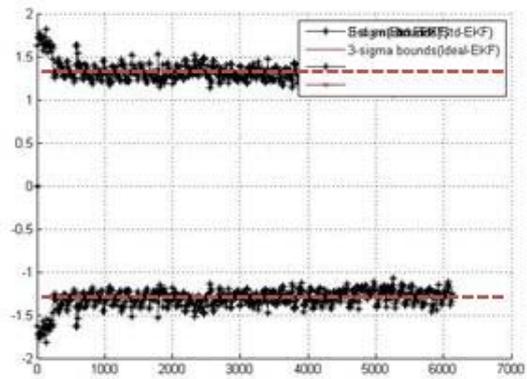


Fig.3 Second simulation with the variable noise model. Outer lines represent the 3 sigma bound of the heading angle of a mobile robot.