

# End-to-End 서빙 로봇 위치추정의 불확실성 추정

이지은, 오지용  
한국전자통신연구원 대경권연구센터  
{jieun.lee, jiyongoh}@etri.re.kr

## Uncertainty Prediction of End-to-End Serving Robot Localization

Jieun Lee, Jiyong Oh  
Daegu-Gyeongbuk Research Division,  
Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI)

### 요 약

본 논문에서는 서빙 로봇이 실내에서 위치를 추정할 때, 그 추정값에 대해 신뢰성을 확보하기 위해 불확실성을 고려한 위치 추정 모델을 제안한다. 제안된 모델은 카메라-라이다 융합 모델인 FusionLoc 을 기반으로 하며, Bayesian Neural Network 를 활용하여 위치추정값과 그 불확실성을 동시에 출력한다. 상용 서빙 로봇으로 수집한 데이터를 통해 실험한 결과, 위치추정값의 오차가 클수록 불확실성 또한 증가하는 것을 확인하였다. 제안된 모델은 서빙 로봇의 위치 추정에서 발생하는 불확실성을 정량화함으로써, 잠재적인 오류를 방지하고 실제 환경에서 로봇의 안정적인 운용을 가능하게 할 수 있다.

### I. 서 론

서빙 로봇이 위치추정에 실패했을 때, 미리 정해진 장소에서 정해진 방향에 맞추어 놓고 재부팅을 해야 한다. 이 과정은 서빙 로봇을 사용하는 입장에서 크게 불편할 뿐만 아니라 고객에게 온전히 집중하지 못하는 상황을 초래한다. 본 논문은 미리 정해진 특정한 위치와 방향이 아닌, 운용 장소 내부 어디에서든 서빙 로봇을 재부팅하여 안정적으로 위치를 추정할 수 있도록 하는 것을 목표로 한다. 이를 위해 end-to-end 방식의 신경망 기반 위치추정 모듈을 사용하고, Bayesian neural network(BNN)를 적용하여 위치추정 모듈 결과에 대한 불확실성을 측정하고자 한다.

BNN 을 활용한 다양한 연구들은 이미 진행되고 있으며, 시멘틱 분할에서 불확실성을 정량화하여 모델의 예측 정확도를 높이는 연구[1], 그리고 의료 영상 분석에서 예측 결과의 신뢰성을 평가하고 잠재적인 오류를 감지하는 연구[2] 등이 있다. 이러한 연구들에서 언급하는 불확실성은 데이터에 포함된 고유 노이즈로 발생하는 불확실성 (Aleatoric)과 모델 파라미터의 불확실성 (Epistemic)으로 크게 두 가지로 나눌 수 있다.

BNN 은 두 가지 유형의 불확실성을 관리할 수 있으며, 이를 통해 모델의 성능과 신뢰성을 향상시키는 데 기여할 수 있음을 잘 보여준다.

본 논문에서 제안하는 모델은 카메라-라이다 융합 모델인 FusionLoc[3]을 기반으로 서빙 로봇의 위치와 방향을 추정하며, BNN 을 활용하여 추정된 위치와 방향에 대한 불확실성도 함께 출력한다. 서빙 로봇이 실제 운용 중 작성된 지도 상에서 현재 위치를 잃어버렸을 때, 이 모델은 위치를 추정하고 불확실성을 기준으로 해당 위치값의 신뢰도를 평가한다. 만약 추정된 위치값이 충분히 신뢰할 수 있다고 판단되면, 그 값을 서빙 로봇에 전달하여 다시 정상적으로 운용될 수 있도록 한다. 이를 통해 서빙 로봇이 예기치 않은 상황에서도 안정적으로 작동할 수 있도록 지원하는 것을 목표로 한다.

### II. 본론

본 연구에서 제안된 모델은 그림 1 과 같이 FusionLoc 모델을 기반으로 BNN 을 활용한다. 이 모델은 카메라

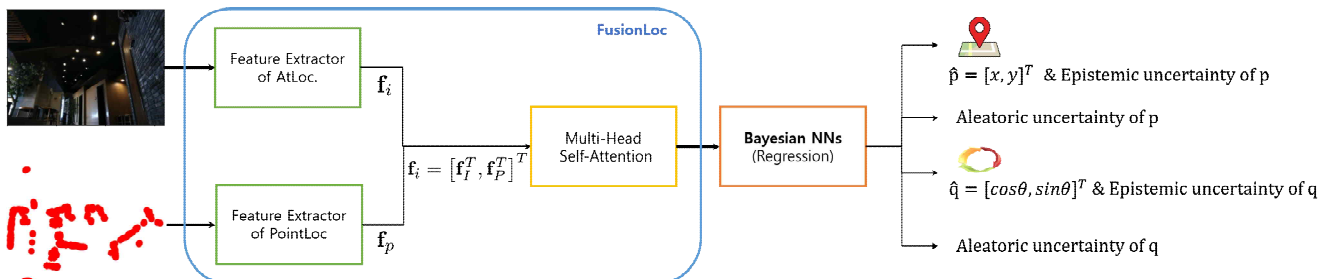


그림 1. 불확실성을 고려한 위치추정 모델

영상과 2D-라이다 데이터를 입력 받아, 이를 통해 작성된 지도 상에서 서빙 로봇의 2 차원 위치(x, y)와 2 차원 방향( $\cos\theta$ ,  $\sin\theta$ )을 추정한다. 또한, 각 위치와 방향 추정값에 대한 불확실성도 함께 출력한다.

제안된 모델의 실험을 위해 약 17m x 24m 크기의 식당 환경에서 실제 운용되고 있는 Polaris3D 사의 상용 서빙 로봇을 이용하여 데이터를 수집하였다. 이 데이터는 서빙 로봇이 식당 내부를 주행하면서 얻은 35 개의 시퀀스로 구성되었으며, 총 13,326 개의 카메라 영상과 2D-라이다 데이터가 포함되었다. 수집된 데이터 중 29 개의 시퀀스 (10,142 개)는 모델의 학습에 사용되었으며, 나머지 6 개의 시퀀스 (3,184 개)는 모델의 성능을 평가하기 위한 테스트 데이터로 활용하였다.

수집한 데이터를 활용하여 실험을 수행한 결과, 그림 2 에서 확인할 수 있듯이, 위치 추정값의 오차가 클수록 불확실성이 증가하는 경향을 보였다. 이러한 결과를 바탕으로, 불확실성이 큰 위치 추정값은 신뢰도가 낮다고 판단하고 반대로 불확실성이 작은 위치 추정값은 신뢰도가 높다고 판단한다. 따라서 서빙 로봇이 실제 운용될 때는 신뢰도가 높은 추정값만을 선택하여 서빙 로봇의 위치로 적용한다. 표 1 에서는 불확실성을 고려하지 않은 경우와 고려한 경우에 대한 서빙 로봇 위치추정 결과의 평균 위치 오차와 평균 방향 오차를 비교하여 제안된 방법의 효과를 보여준다. 이를 통해 불확실성을 고려한 방법이 서빙 로봇 위치추정의 안정성을 향상시키는 것을 확인할 수 있다.

**표 1. 불확실성 고려 여부에 따른 서빙 로봇 위치추정 오차 (불확실성  $\leq 0.1$  기준)**

| 불확실성 고려 여부 \ 평균 오차   | 위치, 방향        |
|----------------------|---------------|
| 고려하지 않은 경우 (3,184 개) | 0.31 m, 1.48° |
| 고려한 경우 (2,486 개)     | 0.05 m, 0.73° |

### III. 결론

본 논문에서는 서빙 로봇이 실제 운용 중에 자신의 위치를 잘못 판단하는 예기치 않은 상황에서, 로봇이 스스로 그 위치를 추정하고 안정적으로 작동할 수 있도록 하는 것을 목표로 한다. 이를 위해 FusionLoc

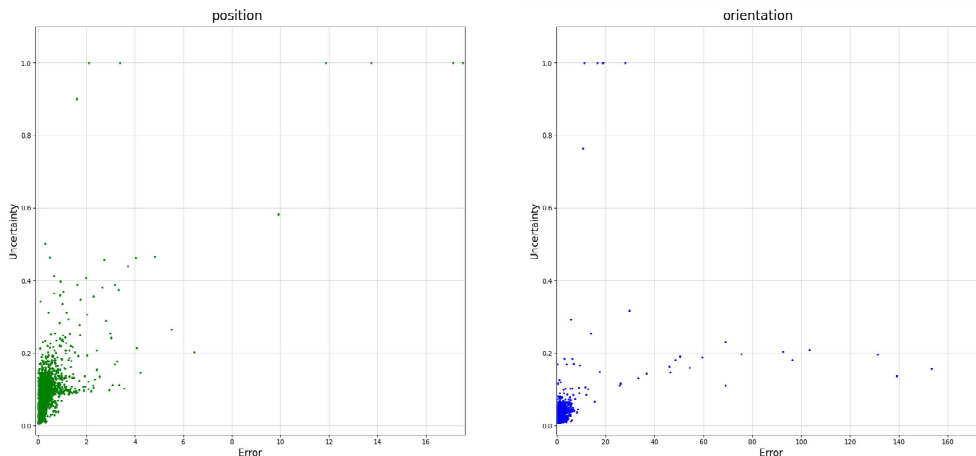
모델을 기반으로 BNN 을 활용하여, 서빙 로봇의 위치추정값의 신뢰도를 불확실성에 기반해 판단할 수 있는 모델을 제안하였다. 제안된 모델을 바탕으로 실험을 수행한 결과, 불확실성을 고려한 위치추정이 실제 환경에서 서빙 로봇의 안정적인 운행에 기여할 수 있음을 확인하였다. 향후 연구에서는 다양한 장소에서 수집한 데이터를 활용하여, 불확실성에 따른 신뢰도 판단의 기준을 보다 명확히 설정하고 이를 통해 모델의 적용 범위를 넓히는 추가적인 실험이 필요할 것으로 예상된다.

### ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 한국전자통신연구원 연구운영지원사업의 일환으로 수행되었음[24ZD1130, 대경권 지역산업 기반 ICT 융합기술 고도화 지원사업(로봇)].

### 참 고 문 헌

- [1] A. Kendall, and Y. Gal, "What Uncertainties Do We Need in Bayesian Deep Learning for Computer Vision?," 31st Conf. on Neural Information Processing Systems, pp. 5574-5584, Dec. 2017.
- [2] M. Laves et al., "Well-Calibrated Regression Uncertainty in Medical Imaging with Deep Learning," Proceedings of Machine Learning Research, pp. 393-412, Jul. 2020.
- [3] J. Lee, H. Lee, and J. Oh, "FusionLoc: Camera-2D LiDAR Fusion Using Multi-Head Self-Attention for End-to-End Serving Robot Relocalization," IEEE Access, vol.11, pp. 75121-75133, 2023.



**그림 2. (테스트 데이터) 각 위치 오차와 방향 오차에 대한 불확실성의 경향성 (왼쪽: 위치, 오른쪽: 방향)**