

앵커 노드 최적화 배치를 통한 거리 정보 기반 딥러닝 상대 측위 기술

윤승미, 현인영, 정의림*(교신저자)
국립한밭대학교

ysm4518@gmail.com, ihnyoung@gmail.com, *erjeong@hanbat.ac.kr

Distance-Based Deep Learning Relative Positioning Technology Through Anchor Node Optimization Placement

Yun Seung Mi, Hyun In Young, Jeong Eui Rim*(Corresponding author)
Hanbat National University

요약

본 논문은 고정 노드가 존재하지 않는 환경에서 최적의 앵커 노드를 선정하여 기존의 군집 무인 로봇 시스템의 거리 정보 기반 상대 측위 시스템의 성능을 개선하는 방법을 제안한다. 제안하는 기법은 기존 논문에서 제안한 DNN 기반 거리 정보를 활용한 상대 측위 방법에 기반하며, 군집 노드의 대형은 유지하며 최적의 앵커 노드를 선택해 상대 측위 정확도를 높인다. 모의실험을 통해 제안하는 방법과 기존 방법의 성능을 비교한 결과, 노드 개수와 상관없이 모든 표준편차 구간에서 기존 방법보다 좌표 추정 성능이 우수하다. 또한 앵커 노드 간 최소 거리를 2m 이상 확보한 경우와 동일한 효과를 보이며, 제한된 영역에서 앵커 노드 간 최소 거리를 확보할 수 없는 경우에도 안정적으로 군집 노드 간 좌표 추정을 수행할 수 있다.

I. 서론

군집 무인 로봇 시스템은 재해 지역의 인명 구조, 군사 작전 등 사람이 접근하기 불가능하거나 위험성을 지닌 열악한 환경에서 팀을 이뤄 다양한 업무를 수행한다. 군집 무인 로봇 시스템의 효율적인 운용을 위해 로봇 간 위치를 정확하게 파악하는 것은 매우 중요하다.[1] 로봇 간 상대 위치를 파악하기 위해서는 GPS 를 이용하는 것이 일반적이지만, 터널, 실내 공간 등 GPS 음영 지역 및 다양한 방해 전파가 존재하는 전장 환경에서는 GPS 를 활용한 측위가 어렵다.[2]

이러한 이유로 GPS 수신이 어려운 환경에서 군집 노드 간 거리 정보를 활용해 딥러닝 기반 상대 측위 기술에 대한 연구가 진행되었다.[3] [3]에서는 노드 간의 거리 정보를 입력 데이터로 활용하며, 대형의 대칭, 회전 등으로 인한 성능 평가 시 발생할 수 있는 모호성을 방지하기 위해 앵커 노드의 역할을 하는 노드에 제한 조건을 부여하여 상대 측위를 수행한다. 하지만 앵커 노드가 가까운 경우와 세 개의 앵커 노드가 일직선 대형을 이루는 경우에는 측위 성능이 저하되는 문제가 있다. 이를 해결하기 위해 앵커 노드 간 최소 간격을 설정해 좌표 추정 성능을 향상할 수 있다. 하지만 제한된 공간에서 앵커 노드 간 최소 간격을 확보하는 것은 현실적으로 어려운 문제이다.

본 논문에서는 고정 노드가 존재하지 않는 환경에서 최적의 앵커 노드를 선정해 거리 정보 기반 상대 측위 시스템의 성능을 개선하는 방법을 제안한다. 제안하는 기법의 성능은 컴퓨터 모의실험을 통해 검증하였으며, 노드의 개수와 상관없이 기존 방법 보다 평균 약 0.93m의 우수한 측위 성능을 보인다.

II. 기존 거리 정보 기반 상대 측위 시스템

기존 거리 정보 기반 상대 측위 시스템은 좌표 평면상 존재하는 모든 노드 간의 거리를 측정한 후 측정된 거리 정보를 기반으로 상대 좌표를 추정한다. 상대 좌표 추정 시 모호성을 해결하기 위해 3 개의 노드에 다음과 같은 규칙을 적용한다. 첫 번째 노드는 원점에 존재하고, 두 번째 노드는 x 축 위에 존재한다. 세 번째 노드는 양의 y 값을 가지며 세 노드를 앵커 노드라 지칭한다. 이동 노드 중 3 개의 노드를 앵커 노드라 지칭하기 때문에 앵커 노드의 위치는 가변적이다. 기존 방법은 첫 번째, 두 번째 앵커 노드가 가까운 경우, 세 개의 앵커 노드가 일직선 대형을 이루는 경우 측위 성능이 저하되는 문제가 있다.



Fig 1. Conventional Distance-Based Relative Positioning System

III. 제안하는 거리 기반 상대 측위 시스템

제안하는 기술은 기존 거리 정보 기반 상대 측위 시스템 모델에 기반하며, 모든 노드 간 거리 측정 후 앵커 노드를 선택하는 과정이 추가된다. 이때, 군집 노드의 대형은 유지된다.

$$\operatorname{argmax}(d_{a,b}, d_{b,c}, d_{c,a}) \quad (1)$$

식 (1)은 삼각형의 세 꼭짓점을 a, b, c 라고 할 때, 최대 거리 조합을 앵커 노드로 선택하는 방법을 나타낸다. 최대 거리 조합 선택 방법은 좌표 평면 상 존재할 수 있는 세 개의 노드 조합 중에서 노드 조합의 거릿값이 가장 큰 경우를 앵커

노드로 선택하는 방법이다. 세 개의 노드의 조합은 N 개의 노드가 존재하는 경우 NC_3 개 존재한다.

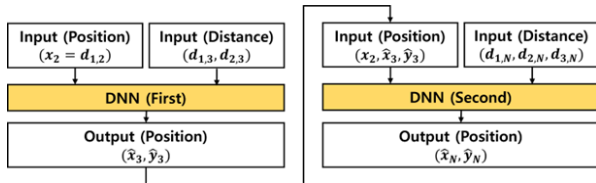


Fig 2. DNN Model Architecture

그림 2는 DNN 모델 구조를 나타낸 그림이며, (x_i, y_i) 는 i 번째 노드의 좌표를 의미하며, i 번째 노드와 j 번째 노드와의 거리는 $d_{i,j}$ 로 표기한다. 두 개의 심층 신경망을 사용하여 좌표 평면상 존재하는 모든 노드의 좌표를 추정할 수 있으며, 노드의 개수가 N 개 일 때, $(N-2)$ 번의 좌표 추정이 필요하다. 첫 번째 신경망은 앵커 노드의 거리 정보를 활용하여 세 번째 앵커 노드의 좌표를 추정한다. 두 번째 심층 신경망은 앵커 노드를 제외한 남아있는 노드들에 대하여 순차적으로 하나씩 노드의 좌표를 추정한다. 이때, 첫 번째 신경망에서 예측한 세 번째 앵커 노드와 거리 정보가 입력 데이터로 활용된다.

IV. 모의실험 환경 및 결과

성능 검증을 위해 Tensorflow와 MATLAB을 이용하여 모의실험을 수행한다. 모의실험 시 노드 간 거리 측정 오차는 표준편차 $0.01m \leq \sigma \leq 0.10m$ 내의 가우시안 잡음으로 가정한다. 학습 데이터의 표준 편차는 범위 내에서 무작위로 설정하여 100,000개 생성하며, 2차원 좌표 평면의 범위는 $\pm 30m$ 로 제한한다. 테스트 데이터의 표준 편차는 동일한 범위 내에서 $0.01m$ 간격으로 설정하며, 좌표 평면의 범위는 $\pm 10m$ 로 제한하여 25,000개의 데이터를 생성한다. 좌표 추정 성능 평가 지표로 평균 제곱근 오차(RMSE)를 사용한다.

1. 앵커 노드간 최소 거리 보장 시 좌표 추정 성능

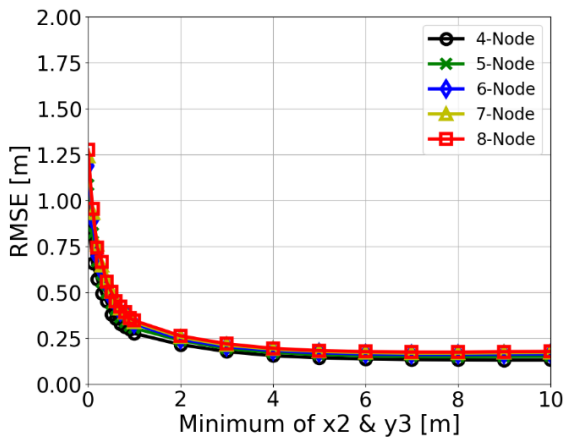


Fig 3. Performance Variation with Minimum Distance Between Anchor Nodes

Fig 3은 좌표 추정 성능 향상을 위해 x_2 와 y_3 의 최솟값을 지정하여 좌표 추정 시 RMSE 성능 그래프이다. x 축은 x_2 와 y_3 의 최솟값을 의미하며 y 축은 RMSE 성능으로 값이 작을수록 좌표 추정 성능이 우수하다. 잡음의 표준편차를 $0.05m$ 로 고정하여 성능을 확인한 결과, 노드의 개수와 상관없이 앵커 노드 간 최소거리가 약 $1m$ 이상 확보된 경우 평균적으로 약 $0.82m$ 좌표 추정 성능이 향상되었다.

2. 최적의 앵커 노드 선택 시 좌표 추정 성능

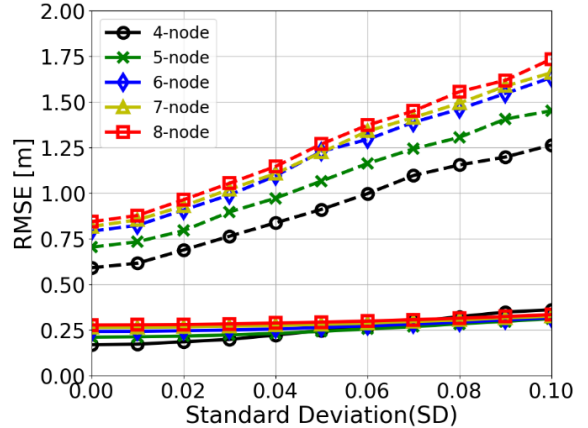


Fig 4. Performance variation with SD of noise

Fig 4는 노드 개수 별 잡음의 표준편차에 따른 RMSE 성능이다. 점선은 기존 방법의 성능이며, 실선은 제안하는 방법의 성능이다. 잡음의 표준편차가 $0.08m$ 인 경우 4개의 노드가 존재할 때 기존 방법 대비 좌표 추정 성능이 약 $0.88m$ 향상되었으며, 7개의 노드가 존재하는 경우 약 $1.26m$ 향상되었다. 노드의 개수가 많아질수록 최적의 앵커 노드 선택 폭이 넓어져 더 큰 성능 향상을 보인다.

V. 결론

본 논문에서는 군집 무인 로봇 시스템에서 거리 정보만을 활용하여 상대 측위를 수행할 때, 최적의 앵커 노드 선택을 통해 기존 방법보다 더 우수한 성능을 보장받을 수 있는 상대 측위 기술을 제안하였다. 제안하는 방법은 기존 논문에서 제안한 DNN 기반 거리 정보를 활용한 상대 측위 방법에 기반하며, 모의실험 결과 노드 개수와 상관없이 모든 표준편차 구간에서 기존 방법보다 평균 약 $0.93m$ 우수한 측위 성능을 보인다. 또한 제안하는 기술은 거리 정보만을 활용한 상대 측위 알고리즘 성능 개선에 있어 앵커 노드 간 약 $2m$ 의 최소 거리를 보장한 것과 동일한 효과를 보인다.

참고 문헌

- [1] Ha, T. J., et al. "Reference Node Selection Scheme for Estimating Relative Locations of Mobile Robot." The Journal of The Korea Institute of Military Science and Technology, 19, pp. 508-516, Aug. 2016.
- [2] Lee, D. H., et al. "Wireless LAN-based Vehicle Location Estimation in GPS Shading Environment." The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transportation Systems, 19, pp. 94-106, Feb. 2020.
- [3] Yun, S. M., "Development of DNN-Based Relative Positioning Technique Using Distance Information in Indoor Swarm Robotic System" Journal of Next-generation Convergence Technology Association, 7m pp. 2006-2013, Dec. 2023.