

고정밀 UGV 측위를 위한 협력측위 기술 동향 조사

이나경^a, 정홍석^b, 이재복^b, 김선우^b

^a숙명여자대학교 전자공학과, ^b한양대학교 융합전자공학과

^aggong2379@sookmyung.ac.kr, ^b{hssjung, ok7393, remero}@hanyang.ac.kr

A Survey on Cooperative Localization for high precision UGV Localization

Nagyeong Lee^a, Hongseok Jung^b, Jaebok Lee^b, and Sunwoo Kim^b

^aDepartment of Electronic Engineering, Sookmyung Women's University,

^bDepartment of Electronic Engineering, Hanyang University

요약

오늘 날 자율주행 차량에 대한 활발한 연구가 진행 중이며 자율주행 차의 상용화를 위해서는 정확한 위치 추정이 요구된다. 이를 위해 UGV (unmanned ground vehicle)와 기지국 (BS: base station)이 통신이 불가능한 상황에서도 UGV의 위치를 추정할 수 있는 협력측위와 같은 측위 기법이 필수적이다. 협력측위는 UGV 간 정보를 주고받으며 공유된 정보를 이용하여 UGV 위치를 추정하는 측위 기법으로 BS와 연결되지 않는 UGV의 정밀 측위를 가능하게 한다. 본 논문에서는 협력측위 개요를 설명하고 협력측위 연구 사례를 크게 ADMM (alternating direction method of multipliers) 기반 협력측위, BP (belief propagation) 기반 협력측위, LocSpeck 및 DRL (deep reinforcement learning) 기반 협력측위로 소개한다.

I. 서론

최근 운전자의 편리성, 도로 안전 및 교통 효율 등을 위하여 독립적인 UGV (unmanned ground vehicle)의 자율주행과 관련된 많은 연구가 진행되었다[1]. 하지만, 현재 UGV 자율주행에 사용되는 차량 센서에서 발생하는 다양한 문제로 인해 완전한 자율주행 구현에는 어려움이 있다[2]. 이러한 문제를 해결하기 위해 고안된 도로 위 물체, 보행자, UGV 및 교통정보 등 인프라와 UGV 간의 통신을 이용한 협력측위 기술을 소개한다. 본 논문에서는 고정밀 UGV 측위를 위한 협력측위 기술의 개요와 최신 협력측위 연구 동향을 소개한다.

II. 협력측위 개요

일반적으로 UGV의 위치를 추정하는 방법으로는 그림 1과 같이 3개 이상의 기지국 (BS: base station) 과 UGV 사이의 거리정보를 이용하는 삼변측량 기법, BS와 UGV 사이의 각도정보를 이용하는 삼각측량 기법, 기존에 구축된 측위 정보와 현재 수신 위치 정보의 유사도를 계산하는 핑거프린팅 기법이 사용된다[1].

협력측위는 UGV 간 또는 UGV와 BS 간의 통신을 이용한 정보 교환을 통해 협력적으로 UGV의 위치를 추정하는 측위 기술로 정확도와 적용 범위 측면에서 측위 성능을 크게 향상시킨다는 장점이 있다. 삼변측량과 같은 측위 방법은 그림 2와 같이 UGV 1은 BS 3과 통신할 수 없고 UGV 2는 BS 1과 통신할 수 없는 상황에서 UGV의 위치 추정이 불가능하다. 하지만, 협력측위는 UGV와 BS 간 통신 뿐만이 아닌 UGV 간 정보를 이용하여 위치 추정을 가능하게 한다. 협력측위는 고전적인 측위 방법과 달리 UGV 간 정보 공유를 통해 UGV-BS 통신 의존도 문제를 극복할 수 있다는 점에서 다른 측위 기법과 차별점이 있다.

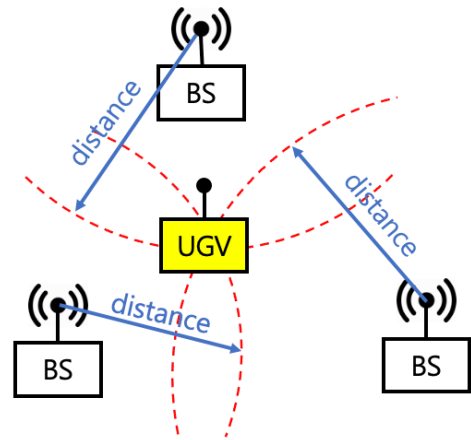


그림 1. UGV와 3개의 BS 사이 거리를 이용해 삼변 측량을 통한 측위 방법

III. 협력측위 연구 사례

본 논문에서는 협력측위 연구 사례를 크게 ADMM (alternating direction method of multipliers) 기반 협력측위[3], BP (belief propagation) 기반 협력측위[4], LocSpeck[5] 및 DRL (deep reinforcement learning) 기반 협력측위[6]의 4가지로 분류하여 소개한다.

A. ADMM 기반 협력측위

ADMM은 2차원 포물선 목적함수를 최소화시키는 변수를 찾는 볼록 최적화 기법으로 원 문제를 부분 문제로 분할하여 제약 조건을 효과적으로 처리할 수 있다. ADMM 기반 협력측위의 주요 절차는 다음과 같다. UGV 네트워크를 통해 각 UGV의 상대적 거리, 도착 각도를 실시간으로 추정한 후 각 측정값 및 UGV의 절대 위치에 대한 측정값 모델을 설정한다. 그 다음 각 측정값을 매개변수로 하는 likelihood를 계산하고 차량 위치를 변수로

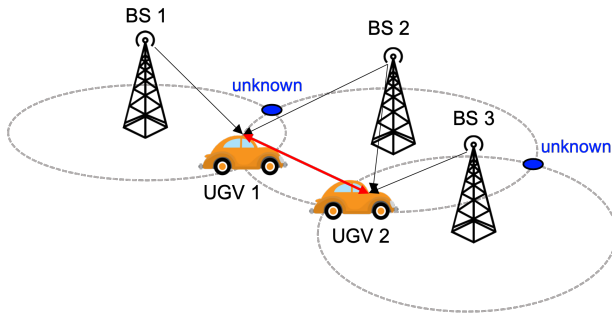


그림 2. UGV와 3개의 BS와 통신 불가능할 때, 협력측위를 이용한 측위 방법

하는 목적 함수를 정의하는데 이때, 각 UGV의 위치는 목적 함수를 최소화하는 2D 벡터이다. 목적 함수의 최적해는 ADMM 기반 분산 협력측위 기법을 통해 각 UGV는 예측, 보정, 균등화 단계를 반복하여 산출된다. 이러한 ADMM 협력측위를 통해 UGV 간 교환되는 위치 정보 계산 복잡성이 낮은 정밀 협력측위를 구현하였다.

B. BP 기반 협력측위

BP는 함수의 인수분해를 나타내는 요인 그래프 모델 기반 메시지 전달 알고리즘으로 UGV의 대략적인 한계 분포인 belief를 계산하여 협력측위와 같은 계층적 모델링에 적합하다. 이전 시간의 belief를 기반으로 현재 시간의 UGV 상태를 예측하고 위치 추정값을 업데이트해 인접 UGV에게 전달한다. 이 후, 각 UGV 위치의 한계 사후 분포에 근사하여 계산한 belief를 기반으로 UGV의 상태를 추정한다. 협력측위에서 측정 모델은 일반적으로 비선형이므로 파티클 필터를 사용해 BP 메시지를 근사한다. 파티클 수를 늘리면 연산량이 증가하지만 메시지가 더 정확하게 근사되어 측위 성능이 향상되므로 연산량과 측위 성능 사이의 최적 파티클 수 설정이 필요하다.

C. LocSpeck

LocSpeck은 UWB (ultra-wideband)와 Wi-Fi 핑거프린팅 상대 거리 측정값 기반 실내 협력측위 기술이다. 핑거프린팅은 위치에 따른 UGV 간 상대 거리 측정값과 RSSI (received signal strength indicator) 측정값을 기록하여 현재 측정값과 비교해 UGV 위치를 추정하는 기법이다. 이때, UGV 간 통신은 BS와 연결되지 않은 UGV 간의 네트워크인 Ad-hoc 네트워크를 통해 UGV 간 연결을 동적으로 변경할 수 있다. LocSpeck은 UGV 간 협력을 통한 상대 거리 측정값과 UGV 위치를 이용하여 파티클의 likelihood를 계산하고 이를 바탕으로 Gaussian 모델을 구해 RSSI 맵을 표현한다. 구축한 RSSI 맵 정보를 사용해 파티클 가중치를 정규화, 리샘플링하여 원하지 않는 파티클을 제거하고 최종적으로 UGV의 위치를 추정한다. LocSpeck을 활용해 실내 환경에서 주변 UGV와 협력을 통해 BS와 통신이 불가능한 UGV의 위치 추정 성능을 향상시킬 수 있다.

D. DRL 기반 협력측위

DRL은 그림 4와 같이 장기 누적 보상 최대화를 목표로 정책(policy)을 최적화하는 기계 학습 기법이며 강화 학습과 심층 신경망을 결합시킨 기법이다. DRL은 대표적으로 DQN (deep Q-network)과 PG (policy gradient)로 분류할 수 있다. DQN은 주어진 상태에서 UGV가 어떠한 행동을 수행하는 것이 가져다 줄 보상의 기댓값 (Q로 정의)을 추정하고 가장 높은 Q값을 가진 행동을 선택하는 기법이다. UGV 측정값의 분산이 높으면 두 UGV 간의 정보 교환이 측정 비용을 보상하는 데 큰 이익이 없다. 따라서 보상을 어떻게 설계하느냐가 협력측위 성능을 좌우시켜 알고리즘 복잡도가 증가한다.

PG는 Q에 의존하지 않고 정책 자체를 매개변수화하여 최적의 policy를

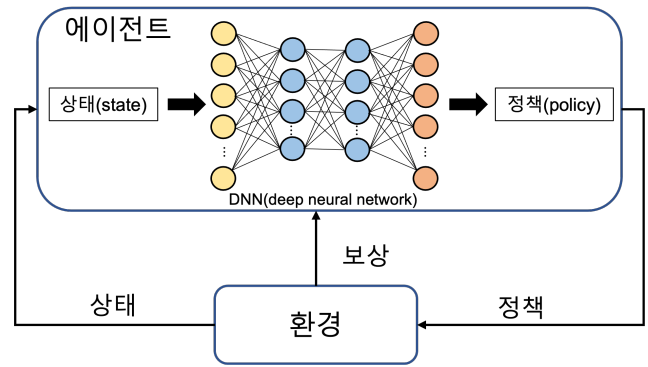


그림 3. DRL 구조

선택하는 기법으로 UGV의 예상 경로를 직접 최적화시킨다. 반드시 하나의 행동에 수렴하는 DQN과 달리 한 가지 행동에 수렴하지 않는다. 협력측위에는 일반적으로 DQN보다 PG 성능이 더 우수하다.

IV. 결 론

본 논문에서는 협력측위 기법의 개요와 협력측위 연구 사례를 소개한다. ADMM 기반 협력측위, BP 기반 협력측위, LocSpeck 및 DRL 기반 협력측위와 같이 4가지의 실내외 협력측위 기술을 확인하였으며 이를 통해 특정 환경에 적합한 협력측위 기법을 선택해 적용할 수 있을 것으로 기대된다. 향후 협력측위 기법을 활용하여 다양한 환경에서 고정밀 UGV 측위와 이를 통한 자율주행의 실현에 기여할 수 있을 것으로 예상된다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단 바이오·의료기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. NRF-2021M3A9E4080780).

참 고 문 헌

- [1] H. Wymeersch, J. Lien, and M. Win, "Cooperative localization in wireless networks," *Proc. IEEE*, vol. 97, no. 2, pp. 427-450, Feb. 2009.
- [2] E. Yurtsever, J. Lambert, A. Carballo, and K. Takeda, "A Survey of Autonomous Driving: Common Practices and Emerging Technologies," *IEEE access*, vol. 8, pp. 58443-58469, 2020.
- [3] H. Kim, S. H. Lee, and S. Kim, "Cooperative Localization With Constraint Satisfaction Problem in 5G Vehicular Networks," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, 2020.
- [4] W. Meng, X. Chu, Z. Lu, L. Wang, X. Wen and M. Li, "V2V Communication Assisted Cooperative Localization for Connected Vehicles," *Proc. IEEE Wireless Commun. Netw. Con. (WCNC)*, pp. 1-6, 2021.
- [5] M. Sakr, A. Masiero, and N. El-Sheimy, "LocSpeck: A Collaborative and Distributed Positioning System for Asymmetric Nodes Based on UWB Ad-hoc Network and Wi-Fi Fingerprinting," *Sensors*, vol. 20, no. 1, p. 78, Dec. 2019.
- [6] B. Peng, G. Seco-Granados, E. Steinmetz, M. Fröhle and H. Wymeersch, "Decentralized Scheduling for Cooperative Localization With Deep Reinforcement Learning," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 68, no. 5, pp. 4295-4305, May 2019.