

# 재난 구조 시나리오를 위한 VIO 와 UWB 기반 협업 측위 시스템

## A Cooperative Localization System of VIO and UWB for Disaster Rescue Scenarios

한민호  
AI 융합네트워크 학과  
아주대학교  
수원시, 대한민국  
vosej2414@ajou.ac.kr

고영배\*  
소프트웨어학과  
아주대학교  
수원시, 대한민국  
youngko@ajou.ac.kr

### 요약

재난 대응 작업에서 정확하고 신뢰할 수 있는 위치 파악은 매우 중요하다. 재난 상황에서 로봇이 신속하게 대응하는 것은 핵심적인 역할을 수행한다. 그러나 재난 환경의 특성으로 인해 정교한 센서 기반의 SLAM이 적절히 작동하지 않을 수 있다. 본 연구에서는 VIO기반 UWB 협력 측위 정확성을 향상하기 위한 방법론을 제안합니다. 이에 따라 VIO와 UWB를 비교하여 재난 상황에서의 정확한 위치 파악을 위한 솔루션을 탐구한다. 실험은 실제 구조 상황을 모사하기 위해 DWM3001CDK와 아이폰을 사용하여 구조자가 이동하면서 UWB 인프라를 구축하고 측위 작업을 수행했다. 실험 결과는 UWB 무선통신으로 얻은 앵커 위치와 VIO를 통해 추정된 앵커 위치로부터 삼각 측량한 구조자의 위치를 나타냈다. 이를 통해 VIO 기반 UWB 협력 측위의 정확성과 효과성을 평가하고, 재난 상황에서의 구조 작업에 적합한 솔루션으로 활용할 수 있음을 확인했다.

키워드 : UWB, 협력 측위, VIO, 삼변측량

### 1. 서론

재난 상황에서의 빠른 대응과 구조 작업은 중요하다. 로봇 기술은 이러한 작업에 점차 중요한 역할을 하고 있다. 하지만, 로봇이 효과적으로 작동하려면 주변 환경을 정확하게 인식하고, 자신의 위치를 파악할 수 있어야 한다. 이를 위해 로봇은 보통 Simultaneous Localization and Mapping(SLAM) 기술을 사용한다[1].

그러나 재난 상황은 특별하게 어려운 환경을 제공한다. 연기, 먼지 등으로 가시성이 떨어지고, 물리적 장애물이 많아져 정교한 센서 기반의 SLAM이 제대로 작동하지 않을 수 있다. 또한, 빠르게 변하는 환경에서는 로봇이 매핑한 정보가 실시간으로 더 이상 유효하지 않을 수 있다[2].

이런 문제를 극복하기 위해 본 연구에서는 UWB를 활용한 협력 측위 방법을 제안한다. UWB는 고정밀 측위에 적합한 기술로, 제안한 환경은 [그림1]과 같이 로봇이 UWB 앵커를 설치하며 길을 나아가는 방식을 사용한다. 하지만 UWB 협력 측위는 특성상 오차가 발생할 수 있어, 이를 보정하는 방법이 필요하다[3].

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 새로운 접근법을 제시한다. 로봇을 이용해 UWB 인프라를 구축하고, 이를 통해 피구조자의 위치를 빠르게 파악한다. 이 때, 협력 측위의 오차는 Visual-Inertial Odometry (VIO)를 통해 보정하며, 이렇게 파악된 위치 정보는 Augmented Reality (AR)를 통해 구조자에게 제공할 수 있다.

\* 교신저자

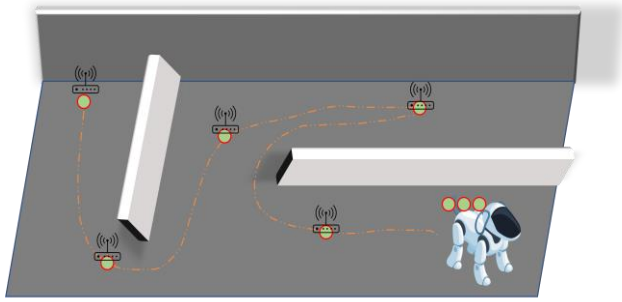


그림 1. 재난 상황에서 로봇을 이용한 UWB 앵커 인프라 구축 예시

## 2. 관련연구

재난 상황에서 로봇의 위치 파악은 중요한 문제로 인식되고 있으며, 이를 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이와 관련하여 본 논문은 VIO를 기반으로 한 UWB협력 측위 기술을 제안한다.

이미 선행 연구에서는 재난 상황에서의 위치 파악에 대한 제약과 문제점을 제시하였다. Yeong Sang Park 등의 연구는 SLAM의 성능이 가시성 저하와 물리적 장애물 등으로 인해 제약을 받을 수 있다는 문제점을 강조하였다[2]. 이를 극복하기 위해 본 연구는 VIO와 UWB를 결합한 협력 측위 기술을 제안하여 정확하고 신뢰성 있는 위치 파악을 가능하게 한다.

또한, 다른 연구들도 UWB와 VIO의 조합을 활용하여 위치 파악에 대한 성능 개선을 시도하였다. S. Zheng 등의 연구는 UWB-VIO 퓨전을 이용하여 다양한 종류의 로봇 팀의 상대적 위치 추정을 정확하고 견고하게 수행할 수 있음을 보여 주었다[4]. 또한, Yanjun Cao 등의 연구는 UWB 앵커의 위치 정보를 활용하여 다른 장치의 정확한 위치 추정 알고리즘을 제안하였다[5]. 이와 함께 HongBeom Choi 등의 연구는 VIO 기반 측위 기법을 제안하며, AR 환경에서 UWB 측위의 가능성을 보였다[6].

실험 결과를 통해 UWB 인프라 구축에 따른 앵커 위치의 부정확성으로 인해 협력 측위 시에 오차가 누적된다는 문제점을 확인하였다. 이에 따라 본 연구는 VIO를 활용하여 UWB 협력 측위

의 오차를 보정하는 방안을 제안하였다. 이를 통해 로봇은 재난 상황에서 더욱 정확한 피해자 위치 파악과 효과적인 구조 활동을 수행할 수 있게 될 것이다.

결론적으로, 이 논문은 재난 상황에서 로봇의 위치 파악에 대한 문제를 해결하기 위해 VIO 기반 UWB 협력 측위 기술을 제안하였다. 이를 통해 정확성과 신뢰성 있는 위치 파악이 가능하며, 로봇 기반 구조 작업의 성능과 효율성을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

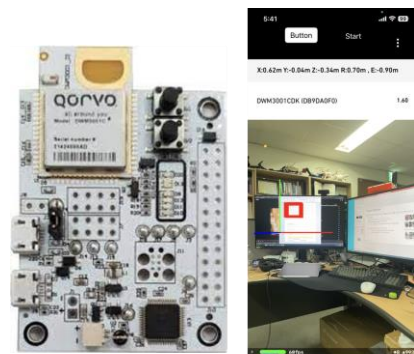


그림 2. Qorvo에서 제공하는 UWB 무선 통신이 가능한 DWM3001CDK 장비 및 UWB 무선통신이 가능한 IOS기반 AR 애플리케이션

## 3. 성능 검증 시나리오 및 분석

### 3.1. 실험 환경 및 데이터 수집방안

본 연구에서는 DWM3001CDK와 아이폰으로 데이터를 수집했다. DWM3001CDK는 UWB를 지원하는 장치로, 주로 거리 측정 및 UWB 거리 데이터 수집을 위해 사용할 수 있다. 아이폰 ARkit의 VIO 기능을 사용했다.

본 연구에서는 DWM3001CDK와 아이폰을 이용하여 iOS 기반 애플리케이션을 개발하여 [그림 2]와 같은 실험 환경을 구성했다. 실험에서는 로봇 대신 구조자가 움직이면서 설치한 앵커들이 협력 측위를 진행하여 앵커 위치와 태그 위치를 추정했다. 추정된 앵커 위치는 UWB, VIO, 그리고 GT(Ground Truth)로 기록했다. 이를 토대로 구조자의 위치를 UWB 데이터를 이용한 삼변측

량을 통해 구조자의 위치를 추정했다. 앵커 측위 성능은 GT와의 비교를 통해 평가했다.

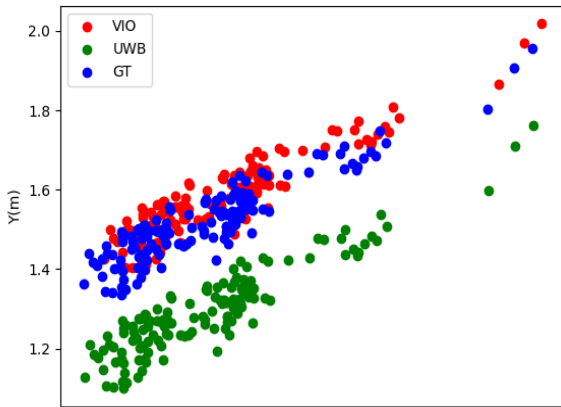


그림 1. VIO, UWB, GT 측정된 앵커 위치 기반 정지한 구조자의 UWB 삼각측량 결과 그래프

### 3.2 초기 성능분석

본 실험은 앵커 위치에 따른 측위 성능에 영향을 확인하고, VIO와 UWB로 앵커 위치를 추정하는 방안을 제시하였다. 실험은 총 3개의 앵커에 대해 진행되었으며, 앵커 1번은 기준점 (0,0)으로 설정했고, 앵커 2번과 3번의 위치는 [표 1]에서 확인할 수 있다.

실험 결과는 GT와 비교하여 다음과 같다. UWB 앵커의 오차는 약 3.8cm와 9.2cm가 발생하였으며, VIO를 활용한 앵커의 오차는 각각 0.8cm와 0.6cm로 나타났다. 또한, 계산된 앵커 위치를 통해 수행한 삼변측량 결과는 [그림 3]에 나타나 있다. [그림 3]과 같이 오차가 발생한 것은 NLOS(Non-Line-of-Sight) 조건으로 추정되며, 이는 장애물에 의한 신호 간섭 등의 요소로 인해 발생한 것으로 해석할 수 있다.

추정된 앵커 위치에서 UWB와 VIO를 활용한 삼변측량 결과는 [그림3]과 같다. 이를 비교해보면, UWB는 약 22.3cm의 오차가 발생하였으며, VIO는 약 6.9cm의 오차가 발생했다. 이러한 오차는 잘못된 앵커 위치로 인해 발생한 것으로 판단된다.

### 4. 결론

본 연구에서는 VIO를 활용한 측위 방법이 우수한 성능을 보여주었다. 그러나 협력 측위 시 앵커 인프라를 더 많이 설치할 경우, 측위 오차가 증가할 수 있다는 문제점을 발견했다. 이를 극복하기 위해 향후 연구 방향으로 고정밀 상대 위치 연구를 모색할 예정이다. 또한, UWB CIR을 활용하여 피구조자를 판별하고, AR 기술을 활용하여 피구조자의 위치를 시각적으로 제공하는 기술에 대한 연구도 계획 중이다. 이를 통해 재난 상황에서의 로봇 위치 파악과 구조 활동에 대한 신뢰성과 효율성을 향상시킬 수 있는 서비스를 개발하고자 한다.

표 1. 앵커 위치 추정의 평균값

앵커번호	UWB(m)	VIO(m)	GT(m)
1	(0,0)	(0,0)	(0,0)
2	(3.592,0)	(3.506,0)	(3.5,0)
3	(0.322,4.871)	(0.368,4.831)	(0.36,4.85)

표 2. UWB와 VIO의 앵커 거리 평균 및 표준편차

앵커번호	UWB 거리(m)		VIO 거리(m)	
	오차평균	표준편차	오차평균	표준편차
1	-	-	-	-
2	0.092	0.23422	0.006	0.00113
3	0.038	0.20444	0.008	0.00158

### Acknowledgement

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터육성지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2023-2018-0-01431)

### 참 고 문 헌

- [1] Robin R.Murphy et al., "Disater Robotics", SHB, 2016
- [2] Yeong Sang Park et al., "Radar Localization and Mapping

for Indoor Disaster Environments via Multi-modal Registration to Prior LiDAR Map”, IROS, 2019

- [3] A. Prorok et al., “Accommodation of nlos for ultra-wideband tdoa localization in single- and multi-robot systems”, IPIN, 2011
- [4] S. Zheng et al.,” UWB-VIO Fusion for Accurate and Robust Relative Localization of Round Robotic Teams”, RA-L, 2022
- [5] Yanjun Cao et al.,” Accurate position tracking with a single UWB anchor”, ICRA, 2020
- [6] HongBeom Choi et al., "LUVI: Lightweight UWB-VIO based relative positioning for AR-IoT applications", Ad Hoc Networks, Volume 145, 2023