

추종로봇을 위한 UWB 기반의 사용자 위치 추정 방법 연구

최낙원, 이준구, 오지용*
한국전자통신연구원

nwchoi@etri.re.kr, leejg01679@etri.re.kr, *jiyongoh@etri.re.kr

A Study on UWB-Based User Position Estimation Method for Following Robots

Nak-Won Choi, Joon-Goo Lee, Jiyong Oh*
Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI)

요 약

본 논문에서는 추종로봇을 위한 사용자 위치 추정을 목적으로 UWB(Ultra-Wideband) 기반 삼각측량법과 삼변측량법을 적용하여, 실측 데이터를 바탕으로 위치 추정 성능을 검증하였다. 기존에는 고정형 앵커(anchor)를 활용하는 방식이 일반적이었으나, 본 논문에서는 모바일 로봇에 앵커를 탑재하여 사용자 위치를 추정하는 방식을 제안하였다. 제안한 방식을 바탕으로 LOS(Line of Sight) 환경에서 위치 추정 실험을 수행하여, 이동형 앵커 기반 위치 추정의 정확도와 모바일 로봇 기반 추종로봇의 적용 가능성을 확인하였다.

I. 서 론

사용자 추종로봇(person-following)은 특정 사용자의 움직임을 실시간으로 감지하고 따라가는 기능을 수행하며, 물류, 안내, 돌봄 등 다양한 분야에서 활용 가능하다. 이에 따라 사용자의 위치와 방향을 빠르고 정확하게 파악하는 능력이 필수적이다. 기존의 사용자 인식 및 위치 추정 기술은 여러 한계점을 갖는다. RGB 카메라 기반 방법은 대상 인식률이 높지만, 거리 추정이 어렵고 고성능 연산 장비가 필요하다. LiDAR는 거리 측정이 정밀하지만, 고비용이고 대상 구분이 어렵다[1]. 또한, Wi-Fi 나 Bluetooth 같은 무선통신 기반 위치 추정 기술은 저비용이라는 장점이 있지만, 다중 경로 간섭과 신호 불안정성으로 인해 정확도에 한계가 있다[2]. 본 논문에서는 이러한 한계를 극복하기 위해, 넓은 대역폭과 높은 시간 분해능을 바탕으로 높은 거리 측정 정확도와 간섭 강인성을 제공하는 UWB(Ultra-Wideband) 기술을 활용하여 비용 효율적이고 정밀한 위치 추정 방식을 제안한다[3]. 특히, 기존 UWB 방식의 고정 앵커(anchor) 설치 한계를 극복하기 위해 로봇에 장착된 이동형 앵커를 활용한 방식을 제안하고, 삼각측량과 삼변측량 기법의 성능을 DW1000 모듈을 이용해 실험적으로 비교·분석하였다.

II. 본론

1. 실험 환경 구성

본 연구에서는 ESP32 DW1000 UWB 모듈을 사용해 DS-TWR(Double-Sided Two-Way Ranging) 방식으로 거리를 측정하였다[3]. 위치 추정 좌표계(앵커 기준 전후 X 축, 좌우 Y 축)에서 태그를 X 축 0.25m 위치에

고정하고 Y 축을 -3.5m 부터 3.5m 까지 0.5m 간격으로 이동시키며 거리 데이터를 수집하였다. 수집된 데이터는 mean filter 로 노이즈를 최소화했으며, 이를 바탕으로 LOS(Line of Sight) 환경에서 삼각측량과 삼변측량 기법의 위치 추정 성능을 비교하여 표 1 에 결과를 정리하였다.

표 1. 삼각·삼변측량의 평균 위치 오차 비교

Tag Position (X, Y) (m)	Triangulation Mean Position Error (m)	Trilateration Mean Position Error (m)
(-3.5, 0.25)	6.99	0.21
(-3.0, 0.25)	6.03	0.22
(-2.5, 0.25)	4.98	0.37
(-2.0, 0.25)	3.96	0.66
(-1.5, 0.25)	2.91	0.60
(-1.0, 0.25)	1.83	0.63
(1, 0.25)	0.20	0.22
(1.5, 0.25)	0.25	0.24
(2.0, 0.25)	0.06	0.07
(2.5, 0.25)	0.09	0.17
(3, 0.25)	0.05	0.08
(3.5, 0.25)	0.15	0.16

2. 삼각측량을 통한 위치 추정

삼각측량법을 통한 태그의 위치는 그림 1 과 같이 (x, y) 로 설정하고, 각 고정된 앵커의 위치를 (x_i, y_i) , 측정된 거리를 a, b 라 할 때, 수식 (1), (2)를 통해 계산한다.

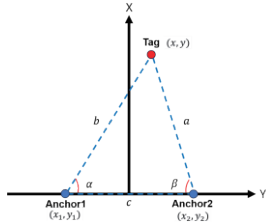


그림 1. 삼각측량법에서 앵커 및 태그 위치

$$x = b \cdot \sin \alpha \quad (1)$$

$$y = y_1 - b \cdot \cos \alpha \quad (2)$$

그림 2 는 앵커 2 개를 사용한 삼각측량법을 적용하여 추정된 태그 위치를 나타낸다. 실험 결과, 표 1 과 같이 X 가 음수인 영역에서는 최소 1.83 m 에서 최대 6.99 m 의 큰 오차가 발생했지만, X 가 양수인 영역에서는 최소 0.06 m 에서 최대 0.25 m 로 비교적 작은 오차를 나타냈다. 특히 2 m 에서 3 m 구간에서는 10 cm 이내의 오차를 보였다. 이는 앵커 전방에서는 높은 정확도를 보이지만, 전후방 구분이 불가능해 태그가 후방에 위치할 경우 오차가 급격히 증가하는 한계를 보여준다.

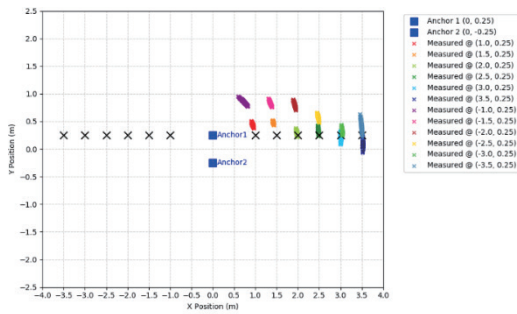


그림 2. 삼각측량법을 통한 태그 위치 추정

3. 삼변측량을 통한 위치 추정

그림 3 은 삼변측량을 통한 태그의 위치 추정 방식을 나타낸 그림이다. 삼각측량과 같이 각 고정된 앵커의 위치를 (x_i, y_i) , 측정된 거리를 r_i 라 할 때, 태그의 위치 (x, y) 는 수식(3), (4), (5)를 연립하여 계산한다.

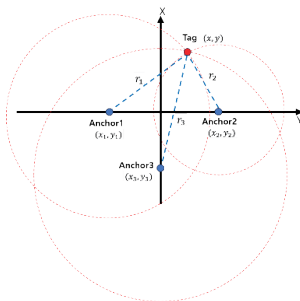


그림 3. 삼변측량법에서 앵커 및 태그 위치

$$(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = d_1^2 \quad (3)$$

$$(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 = d_2^2 \quad (4)$$

$$(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 = d_3^2 \quad (5)$$

그림 4 는 앵커 3 개를 사용한 삼변측량법을 적용하여 추정된 태그의 위치를 나타낸다. 표 1 과 같이 X 가 음수인 영역에서는 최소 0.21 m 에서 최대 0.63 m 의 오차가 발생하였으며, 양수인 영역에서는 최소 0.06 m 에서 최대 0.25 m 의 오차를 보였다. 특히 2 m 에서 3 m 구간에서는 20 cm 이내의 오차를 보였다. 이는 태그가 앵커의 후방에 위치할 때, 앵커의 배치 특성과 안테나 방향성의 영향으로 일부 구간에서 오차가 증가하지만, 태그의 전후 방향을 구분할 수 있음을 보여준다.

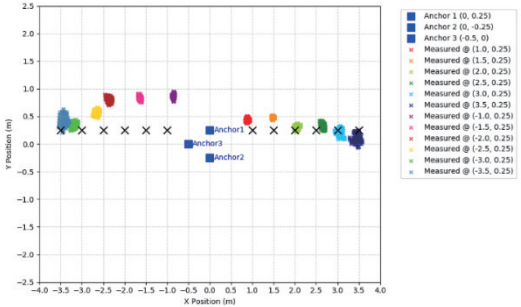


그림 4. 삼변측량법을 통한 태그 위치 추정

III. 결론

본 논문에서는 사용자 추종로봇을 위한 UWB 기반의 삼각측량법과 삼변측량법의 위치 추정 성능을 비교하였다. 삼각측량은 일부 구간에서 10 cm 이하의 오차를 보였지만 전후 방향 구분에 한계가 있었고, 삼변측량은 유사한 수준의 오차가 발생했으나 전후 방향성 확보할 수 있었다. 이를 바탕으로, 삼변측량 기법을 실제 모바일 로봇에 적용하여 실시간 사용자 추종로봇 기능을 구현하고 오차 보정 및 안정성 향상을 위한 후속 연구를 진행할 계획이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 한국전자통신연구원 연구운영지원사업 [25ZD1130, 대경권 지역산업 기반 ICT 융합기술 고도화 지원사업(로봇)] 및 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 과학기술사업화진흥원의 지원을 받아 수행 되었음('학연협력플랫폼구축 시범사업' RS-2023-00304776).

참 고 문 헌

- [1] Islam, Md Jahidul, Jungseok Hong, and Junaed Sattar, "Person-following by autonomous robots: A categorical overview," The International Journal of Robotics Research, vol. 38, no. 14, pp. 1581-1618, Oct. 2019.
- [2] Aziz, T.; Koo, I., "A Comprehensive Review of Indoor Localization Techniques and Applications in Various Sectors," Applied Sciences, vol. 15, no. 3, Feb. 2025.
- [3] M. Elsanhoury *et al.*, "Precision Positioning for Smart Logistics Using Ultra-Wideband Technology-Based Indoor Navigation: A Review," IEEE Access, vol. 10, pp. 44413-44445, Apr. 2022.