

동일 평면상에 배치된 앵커들의 지역 좌표 추정

나선필, 박철순, 조성진, 장재원, 김선교, 전종화*

국방과학연구소, 한화시스템*

sp2025@add.re.kr

Estimation of Local Coordinates of Anchors placed on the Coplaner

Sun-Phil Nah, Cheol-Sun Park, SungJin Jo, Jaewon Chang, Seon-Kyo Kim, Jong-Hwa Jeon

Agency for Defense Development

요 약

GPS 거부 환경에서 UWB 기반 측위 시스템은 UWB 표준상의 거리 측정 알고리즘을 이용하여, 앵커와 태그 간의 거리정보를 추정한 후 다변 측량 기법으로 태그의 좌표를 측위 하는 방식으로 동작한다. 이러한 거리정보에 기반한 태그 좌표 추정을 위해서는 앵커들의 정확한 좌표를 사전에 알고 있어야 한다는 어려움이 있다. 본 논문에서는 각각의 앵커들에 장착된 UWB 모듈을 이용하여 앵커들 간의 거리를 측정한 후 동일 평면상에 배치된 앵커들의 지역 좌표를 추정하는 방법을 제안하였다.

I. 서론

최근 GPS 거부 환경에서 UWB 모듈을 이용한 측위 시스템에 관한 연구 결과가 다수의 학술지를 통하여 발표되었다. 다양한 거리 측정 기법이 소개되었지만, 일반적으로 앵커와 태그 간의 거리를 측정하여 태그의 좌표를 추정한다. 이처럼 거리에 기반한 태그 좌표 추정 방법의 공통점은 앵커들의 정확한 좌표를 알아야 태그의 좌표를 추정할 수 있다는 것이다. 참고문헌 [1]은 하이브리드 Multi-Ranging 거리 측정 알고리즘을 통해 앵커와 태그 간의 거리를 측정하고 최적화 기법을 통해 앵커의 좌표를 추정한다. 본 논문에서는 앵커에 장착된 UWB 모듈을 통해 앵커들 간의 거리를 측정한 후 동일 평면상에 배치된 앵커들의 지역 좌표를 추정하는 방법을 제안하였다.

II. 본론

동일 평면상에 4개의 앵커가 그림 1과 같이 평행사변형 형태로 배치되어 있고, 각각의 앵커들은 UWB 모듈을 통하여 거리를 측정할 수 있다고 가정한다.

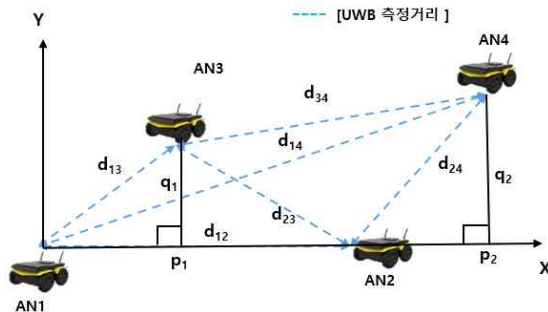


그림 1. 동일 평면상에 배치된 앵커

각 앵커의 지역 좌표 추정은 2단계로 이루어진다. 첫 번째 단계는 앵커들 간의 거리를 N 번 반복하여 측정한 후 식 (1)과 같이 평균을 취하여 앵커 간의 거리를 결정한다. 거리 측정은 TWR(Two-Way Ranging) 방식 중 동기화되지 않은 UWB 모듈 간의 클록 오프셋 영향을 최소화할 수 있는 ADS-TWR 방식[2]을 적용하였다.

$$d_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N d_{ij,k} \quad (1)$$

두 번째 단계는 앵커들의 지역 좌표를 결정하는 단계로 앵커1(AN1)을 지역 좌표의 원점으로 설정하면 앵커1의 좌표는 $AN1 = (0, 0, 0)$ 이 된다. 앵커1과 앵커2(AN2)를 연결하는 직선을 x축으로 설정하면 앵커2의 좌표는 $AN2 = (d_{12}, 0, 0)$ 이 된다. AN123가 이루는 삼각형의 꼭짓점인 AN3에서 x축에 내린 수선 p_1 이 x축 좌표가 되고 수선의 길이인 q_1 이 y축 좌표가 되기 때문에 앵커3의 좌표는 $AN3 = (p_1, q_1, 0)$ 이 된다. 피타고라스 정리에 의해 아래 식 (2)와 같은 관계가 성립한다.

$$\begin{aligned} d_{13}^2 &= p_1^2 + q_1^2 \\ d_{23}^2 &= (d_{12} - p_1)^2 + q_1^2 \end{aligned} \quad (2)$$

이때 식 (2)를 p_1 과 q_1 에 대해 정리하면 아래 식 (3)과 같이 p_1 과 q_1 을 결정할 수 있다.

$$\begin{aligned} p_1 &= \frac{d_{12}^2 + d_{13}^2 - d_{23}^2}{2d_{12}} \\ q_1 &= \sqrt{d_{13}^2 - p_1^2} \end{aligned} \quad (3)$$

앵커4의 경우 AN124가 이루는 삼각형의 꼭짓점인 AN4에서 x축에 내린 수선 p_2 에 d_{12} 를 더한 값이 x축 좌표가 되고 수선의 길이인 q_2 가 y축의 좌표가 되기 때문에 앵커4의 좌표는 $AN4 = (d_{12} + p_2, q_2, 0)$ 가 된다. 앵커3의 경우와 같이 피타고라스 정리에 의해 아래 식 (4)와 같은 관계가 성립된다.

$$\begin{aligned} d_{24}^2 &= p_2^2 + q_2^2 \\ d_{14}^2 &= (d_{12} + p_2)^2 + q_2^2 \end{aligned} \quad (4)$$

이때 식 (4)를 p_2 과 q_2 에 대해 정리하면 아래 식 (5)과 같이 p_2 과 q_2 를 결정할 수 있다.

$$p_2 = \frac{d_{14}^2 - d_{12}^2 - d_{24}^2}{2d_{12}} \quad (5)$$

$$q_2 = \sqrt{d_{24}^2 - p_2^2}$$

앵커들의 z축 값이 0인 이유는 모든 앵커가 동일 평면상에 배치되어 있다는 가정 때문이다.

III. 시뮬레이션

앵커들의 지역 좌표 추정성능을 검증하기 위하여, 신호대잡음비(SNR)를 1dB부터 25dB까지 1dB 간격으로 변경하면서 지역 좌표 추정성능을 확인하였다. 먼저 앵커들 간의 거리 측정은 신호대잡음비 별로 ADS-TWR 방식으로 100번 반복하여 측정하였다. 앵커들의 지역 좌표는 위의 식 (3)과 (5)를 적용하여 추정하였다. 신호대잡음비(SNR) 10dB 조건과 15dB 조건에서의 앵커 좌표 추정 결과는 아래 표 1과 같다.

표 1. 앵커 지역 좌표 추정 성능(단위:m)

SNR	앵커 번호	X축			Y축		
		설정	추정	오차	설정	추정	오차
10 dB	1	0	0	-	0	0	-
	2	100.0	99.41	0.59	0	0	-
	3	50.0	51.24	1.24	100.0	98.64	1.36
	4	150.0	149.80	0.20	150.0	149.24	0.76
15 dB	1	0	0	-	0	0	-
	2	100.0	100.10	0.10	0	0	-
	3	50.0	50.05	0.05	100.0	100.03	0.03
	4	150.0	149.83	0.17	150.0	150.19	0.19

신호대잡음비 10dB 조건에서는 1m 이상의 추정오차가 발생하지만 15dB에서는 최대오차가 19cm로 안정적인 성능을 보임을 알 수 있다. 신호대잡음비 변화에 따른 앵커들의 x축과 y축 좌표 추정성능은 아래 그림 2와 그림 3과 같다. 신호대잡음비가 15dB 이상일 경우 안정적인 성능을 보임을 확인할 수 있다.

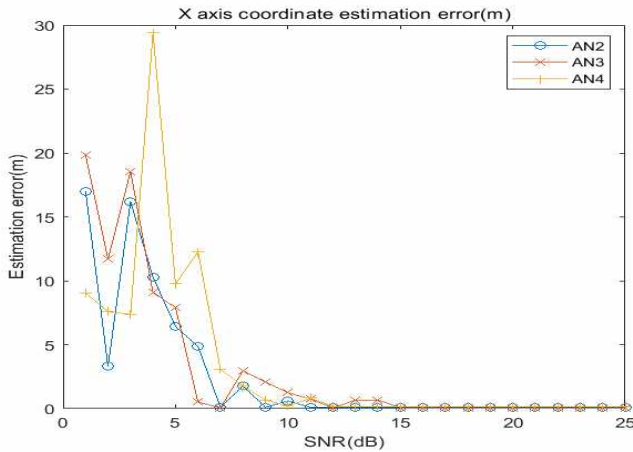


그림 2. SNR별 앵커들의 x축 좌표 추정성능

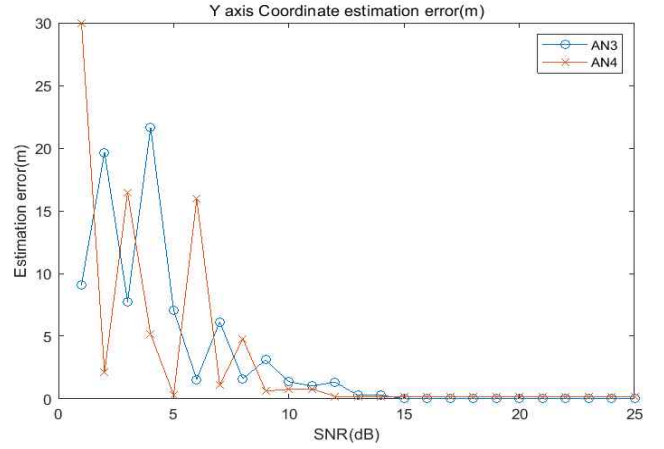


그림 3. SNR별 앵커들의 y축 좌표 추정성능

IV. 결론

본 논문에서는 각각의 앵커들에 장착된 UWB 통신 모듈을 이용하여 앵커들 간의 거리를 측정 후 동일 평면상에 배치된 앵커들의 지역 좌표를 추정하는 방법을 제안하였고, 시뮬레이션 결과 앵커들의 지역 좌표 추정 성능이 앵커들 간의 거리 측정 정확도에 의해 결정되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 태그 좌표 추정성능에 앵커 좌표 추정 정확도가 미치는 영향이 매우 크므로 앵커들의 배치 방법을 포함한 거리 측정 정확도 향상방안에 관한 연구가 필요하다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 정부(방위사업청)의 재원으로 미래도전국방기술과제(No. 915087201)를 통해 연구가 수행되었다.

참 고 문 헌

- [1] 장원, 조병록, "UWB 기반 자동 Anchor 좌표 결정 기법을 이용한 측위 시스템", Journal of the KIECS, pp.1359-1366, vol.19, no.6, Dec. 31, 2024
- [2] D. Neiryck, E. Luk, M. McLaughlin, "An Alternative Double-Sided Two-Way Ranging Method", 13TH Workshop on positioning, navigation and communications(WPNC), 19-20 Oct. 2016