

지수 이동평균을 이용한 UWB 실내 측위 시스템 성능개선 연구

김대호*, 강희선*, 김범훈*, 변재영**, 황석승***

조선대학교 정보통신공학과***, 전자공학과***

wireless@chosun.kr*, greenysun@chosun.kr*, godsengl210@chosun.kr*, jypyun@chosun.ac.kr**, hwangss@chosun.ac.kr***

A Study On the Performance Improvement of UWB Indoor Positioning System Using Exponential Moving Average

Dae-Ho Kim*, Hui-Seon Gang*, Beom-Hun Kim*, Jae-Young Pyun**, Suk-Seung Hwang***

Dept. of Information and Communication Engineering**, Dept. of Electronics Engineering***, Chosun Univ.

요약

위치 기반 서비스의 수요가 늘어감에 따라 실내 환경에서도 다양한 측위 기술이 연구되고 있으며 그 중 UWB 기반 실내 측위 시스템은 나노초 규모의 고해상도 시간 분해능으로 정밀한 거리 측정이 가능해 높은 위치 성능을 제공한다. 본 논문에서는 TOA 기반 UWB 실내 측위 시스템에서 거리 측정 오차를 지수 이동평균을 적용, 완화하여 삼변측량 시 위치 성능을 개선하는 방법을 제안하고 그 유효성을 확인하였다.

I. 서론

정보화 사회가 가속화됨에 따라 위치 정보에 대한 수요가 증가하고 있다. 이러한 수요에 맞춰, 최근에는 위성 항법 시스템(global positioning system; GPS)을 사용하기 어려운 실내 환경에서도 위치 서비스를 제공할 수 있도록 관련 기술이 활발히 연구되고 있다.

실내 측위를 위한 기술로는 WiFi AP, BLE Beacon 기반 RSSI(received signal strength indicator) 핑거프린팅, 관성 측정 장비(inertial measurement unit; IMU) 기반 보행자 추측 방법, 레이더 및 라이다 기반 TOF(time of flight), 초광대역(ultra-wideband; UWB) 통신 기반 TOA(time of arrival) 및 TDOA(time difference of arrival) 기술이 있다. 이 중 UWB 기반 측위 시스템은 초광대역 특성에 따라 나노초 규모의 강한 시간 분해능을 통해 다중 경로 환경에서 전파된 신호를 정밀하게 분류할 수 있다. 이러한 특성에 따라, 기기 간 거리 측정을 위한 송수신 타이밍인 timestamp를 비교적 정확하게 관측할 수 있으며 고성능의 위치 서비스를 제공할 수 있다 [1].

본 논문에서는 IEEE 802.15.4-2011 UWB 기반의 태그와 앵커로 구성된 TOA 측위 시스템에서 두 기기 사이의 왕복 지연 시간을 통해 거리를 계산, 측위 할 때 지수 이동평균을 적용하여 측위 성능을 개선하는 방법을 제안하고 실험을 통해 검증하였다.

II. 본론

본 논문에서 사용된 UWB 기반의 측위 시스템은 2차원 삼변측량(2D-trilateration)을 이용하여 모바일 태그의 위치를 추정하므로 최소 3개의 앵커와 각각의 위치 (x_0, y_0) , (x_1, y_1) , (x_2, y_2) , 그리고 각각의 거리 (d_1, d_2, d_3) 가 필요하다. 모바일 태그의 위치 (x_t, y_t) 를 추정하기 위한 삼변측량 수식은 (1)과 같다 [2].

삼변측량 수식에서 나타난 바와 같이 앵커들의 위치는 고정이므로 태그와 각 앵커 간의 거리 추정 정확도가 태그의 위치 성능을 결정하는데 중요

한 요소가 된다. 앵커와 태그 간의 거리는 TWR(two-way ranging) 알고리즘을 통해 추정할 수 있다.

$$\begin{cases} d_0^2 = (x_0 - x_t)^2 + (y_0 - y_t)^2 \\ d_1^2 = (x_1 - x_t)^2 + (y_1 - y_t)^2 \\ d_2^2 = (x_2 - x_t)^2 + (y_2 - y_t)^2 \end{cases} \quad (1)$$

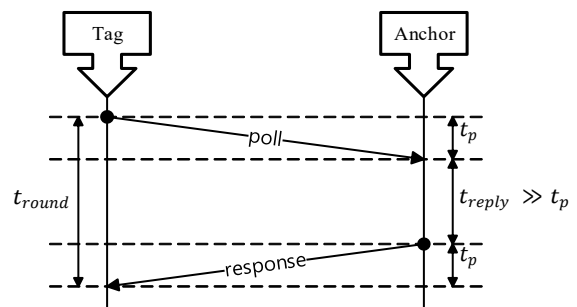


그림 1. Two-way ranging

그림 1은 태그와 앵커가 거리 추정을 위해 메시지를 교환하는 절차를 나타낸다. 태그는 거리 측정을 위해 타이머를 작동시키며 poll 메시지를 앵커로 보내게 되고, 앵커는 응답 시간인 t_{reply} 후에 response 메시지로 응답한다. 이 response 메시지를 받은 태그는 타이머를 정지시켜 메시지 왕복 시간인 t_{round} 를 기록한다. 이후 태그는 t_{round} 에서 t_{reply} 을 감하여 UWB 신호가 공기 중에서 왕복 전파된 시간(round trip time-TOA; RTT-TOA)인 $2t_p$ 를 계산하고 전파 시간 t_p 로 환산, 광속도($c = 299,792,458\text{m/s}$)와 곱해 거리를 추정한다. TWR의 거리 계산 수식은 (2), (3)과 같다 [3].

$$t_p = \frac{1}{2}(t_{round} - t_{reply}) \quad (2)$$

$$d = t_p \times c \quad (3)$$

실제 시스템에서는 기기 간 클럭 오프셋 (clock offset)으로 인해 태그의 t_{round} 와 앵커의 t_{reply} 측정에 오차가 누적되므로 이를 완화하기 위해 태그와 앵커 측에서 같은 응답 시간을 갖고 각각 TWR를 수행하는 SDS-TWR (symmetric double sided-TWR)을 사용하였다.

SDS-TWR를 적용함에 따라 기기 간 클럭 오차는 완화되나, 다중경로 및 NLOS 환경에서 기기 운용 시 UWB 신호 전파가 방해받아 전파 시간에 오차를 발생시킨다. 이러한 환경은 태그와 앵커의 배치, 사람 또는 실내 배치된 여러 장애물로 인해 만들어진다.

본 논문에서는 측위의 성능 향상을 위해 거리 추정 알고리즘에 지수 이동평균 (exponential moving average; EMA)를 적용하여 삼변측량에 사용하는 것을 제안한다. EMA는 이동평균에 반해 오래된 측정치에 대해 가중치를 기하급수적으로 낮게 두어 변화의 민감성과 잡음 제거를 충족할 수 있다 [4]. 적용된 EMA 수식은 (4)와 같으며 x_m 은 측정치, x_n 은 추정치, α 는 가중치로 0.5를 사용하였다. 추가로, EMA는 각각의 TWR 결과에 같은 조건으로 적용되었다.

$$x_n = \alpha x_{n-1} + (1 - \alpha)x_m \quad (4)$$

EMA가 적용된 UWB 측위 시스템의 성능평가를 위해 그림 2와 같은 폭 7.5m 길이 14.4m의 사무실 환경에 3개의 앵커 (A0, A1, A2)를 배치하고 보행자가 태그를 쥔 채 A0에서 출발하였다. 그리고 보행자는 붉은 실선을 따라 이동하며 측위 된 결과를 기록하여 EMA와 순수한 삼변측량을 비교하였다. 추가로, 그림 2의 붉은 원은 원점, 푸른 사각형은 앵커와 그 위치, 원점에서 A0까지 X축, 원점에서 A2까지 Y축이다.

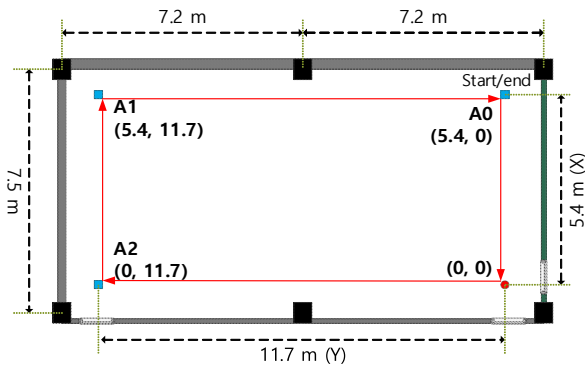


그림 2. 성능평가를 위한 실험 환경 (사무실)

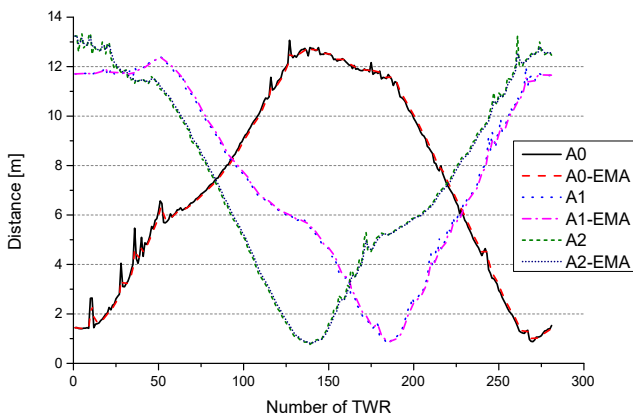


그림 3. EMA가 적용된 거리 측정 결과 비교

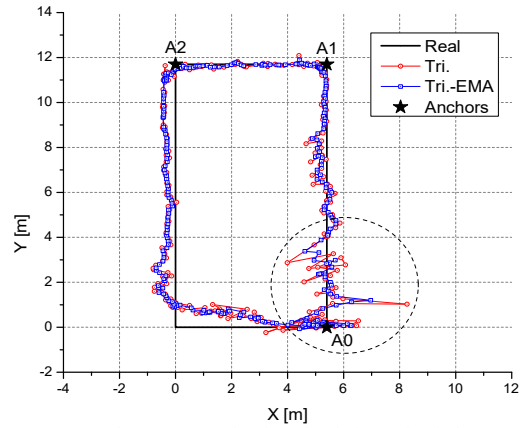


그림 4. EMA가 적용된 위치 측정 결과

그림 3은 그림 2의 환경에서 각각의 앵커 (A0, A1, A2)와 태그 간의 TWR를 통해 추정된 거리 측정 결과를 보여준다. 성능평가 시나리오에서 대상은 일정한 속도로 걷는 보행자이므로 모든 거리 측정 결과는 실제 완만한 곡선을 그려야 한다. 그러나 일부 구간, 특히 앵커 A0의 초기 1.5 m에서 6 m 범위에서 발생한 오차를 EMA를 적용하여 완화한 것을 볼 수 있다. 그림 4는 그림 3의 결과를 토대로 삼변측량을 수행하여 태그의 위치를 추정한 결과이며 EMA가 적용된 결과 (Tri.-EMA)가 순수 TWR만 적용된 결과 (Tri.)보다 점선 표시구역에서 성능이 개선됨을 알 수 있다.

III. 결론

TOA 기반 UWB 측위 시스템은 TWR 알고리즘으로 기기 간 거리를 정밀하게 측정할 수 있으나 NLOS 조건이 생기는 복잡한 환경에서는 오차가 발생하여 위치 측정 시 성능감소로 이어진다. 본 논문에서는 TWR 알고리즘에 EMA를 적용, 거리 측정 오차를 줄여 측위 성능이 개선됨을 확인하였다.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT). (No. NRF-2019R1A2C1004847)

참 고 문 헌

- [1] Y. Gu, A. Lo, and I. Niemegeers, "A Survey of indoor positioning system for wireless personal networks", IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 11, no. 1, pp. 13-32, 2009.
- [2] CY Shih, PJ Marrón, "COLA: Complexity-reduced trilateration approach for 3D localization in wireless sensor networks", 2010 Fourth International Conference on Sensor Technologies and Applications, pp. 24-32, Jul. 2010.
- [3] Decawave Ltd., "APS013 Application Note: The implementation of two-way ranging with the DW1000" <https://www.decawave.com>, Mar, 2017.
- [4] S Subedi, HS Gang, NY Ko, SS Hwang, JY Pyun, "Improving Indoor Fingerprinting Positioning With Affinity Propagation Clustering and Weighted Centroid Fingerprint" IEEE Access 7, pp. 31738-31750, Mar. 2019.