

UWB 멀티 레인징을 위한 MAC 프로토콜

MAC protocol for UWB multi-ranging

김진수
AI 융합네트워크학과
아주대학교
수원시, 대한민국
wlstnsp1@ajou.ac.kr

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

요약

실내 측위의 중요성이 대두되며 다중 디바이스를 활용하는 다양한 측위 어플리케이션이 등장하였다. 하지만 기존 IEEE 802.15.4 에 제시된 MAC 프로토콜인 ALOHA 나 CSMA-CA 는 1 대 1 통신을 진행하므로 디바이스의 수가 많아질 경우 측위의 주기가 길어져 이동하는 물체를 측위 할 때 오차가 증가한다. 본 논문은 이를 해결하기 위해 TWR 기반의 멀티 레인징 기법을 제안한다. 본 기법을 통해 다중 디바이스 사이에서 IEEE 802.15.4 에 소개된 TWR 에 비해 적은 통신 수로 빠른 측위가 가능하다. 특히 앵커의 수가 많은 시나리오에서 효과적일 것으로 예상된다.

키워드 : UWB, MAC, TWR

1. 서론

최근 인간 위치 트래킹, 군중밀집도 분석, 물건 위치 트래킹 등 위치 기반 서비스가 제안되며 실내 측위가 주목받고 있다. 위치 기반 서비스의 주요 기술인 GPS 가 실내 환경에서는 위성 통신의 성능이 떨어지기 때문에, 실내 측위 기술로 여러 가지 기술들이 제안되었다.[1]

그 중 UWB 를 활용한 무선 통신 측위는 비용 대비 10cm 내외의 낮은 오차로 인해 유망한 실내 측위 기술 중 하나이다[2].

UWB 를 활용한 측위 방법으로는 크게 TDoA, Two-Way Ranging 기술이 있다. TDoA 의 경우 상업적으로 가장 많이 사용되는 기술이나, Anchor 디바이스들이 나노 초 단위의 정확한 시간 동기화가 필요하기 때문에 높은 비용 및 높은 구현 난이도라는 문제가 존재한다[3].

반면 TWR 은 TDoA 와 달리 Ranging 과정에서 clock drift 가 제거되기 때문에 Anchor 간 시간 동기화를 맞추는 과정이 필요없다. 하지만 SS-TWR 은 Poll - Response, DS-TWR 은 추가로 Final - Extra 로 이어지는 일련의 통신 과정 때문에 브로드캐스트를 활용하는 TDoA 기법에 비해 통신의 수가 많아진다.

TWR 의 이러한 문제로 인해 통신 장치가 많은

환경에서는 MAC 을 고려하여야 한다. 기존 802.15.4 에 제시된 MAC 프로토콜 및 TWR 은 ALOHA 와 CSMA/CA 로 앵커와 태그 사이에 1:1 통신을 진행한다[4]. 따라서 장치의 수가 증가하면 주변 장치와 통신하는데 더 오랜 시간이 필요하다.

본 논문은 이러한 문제를 해결하고자 1:1 레인징인 기존 TWR 을 1:N 레인징, 즉 멀티레인징 기법을 제안한다. 제안 기법을 통해 기존 방법보다 적은 메시지로 주변 장치와 레인징을 할 수 있다. 제안기법은 특히 앵커의 수가 태그의 수 보다 많을 때 효과적이다.

2. 관련연구

UWB 를 활용하여 멀티 레인징을 구현할 경우 측위 주기를 단축시킬 수 있기 때문에 태그를 좀 더 정밀하게 측위할 수 있다. Concurrent Ranging 은 TDoA 기반 측위 기술로, CIR 정보를 활용하여 기존 TDoA 에 비해 측위 주기를 단축시켰다[5]. 하지만 TDoA 의 특성상 정확한 시간 동기화가 필요하고, 특히 Anchor 들의 스케줄링 과정이 필요하다.

PetTrack 에서는 애완동물의 정확한 측위를

위해서 Pipelined-TWR 을 사용하였다[6]. Pipelined-TWR 은 태그가 POLL 메시지를 브로드캐스트하면 앵커들이 스케줄링 된 시간에 RESPONSE 메시지를 전송한다. 하지만 Concurrent Ranging 과 마찬가지로 시스템 시작 단계에 스케줄링을 하거나, 사용자가 직접 스케줄링을 해야 한다는 문제가 있다.

3. 제안기법

본 논문이 제안하는 레인징 기법은 그림 1 과 같다. SS-TWR 은 POLL - RESPONSE 두가지 메시지를 이용하는 TWR 기반 레인징 기법이다. DS-TWR 에 비해 정확도가 떨어지나 레인징에 필요한 통신의 수가 적다는 장점이 있다. 본 논문에서는 확장성을 중요시하기 때문에 SS-TWR 을 기반으로 새로운 기법을 제안한다.

태그는 이웃한 모든 앵커와 동시에 레인징 하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 POLL 메시지를 브로드캐스트한다. 이 때 표준에 정의된 TWR 방법을 사용할 경우 POLL 메시지를 수신한 즉시 RESPONSE 를 전송하여 통신 충돌이 발생하여 레인징에 실패할 확률이 높다. 제안 기법은 RESPONSE 를 랜덤 시간동안 대기 후 전송하는 것으로 충돌을 방지한다. 앵커가 전송한 RESPONSE 메시지를 순차적으로 태그가 수신하면 태그는 앵커 장치들과 거리를 계산할 수 있다. 그림 1 은 제안 기법을 표현한 그림이다. 태그가 Poll 메시지를 전송하면 앵커 A와 앵커 B가 메시지를 수신한다. 이후 메시지를 전송하기 위한 최소 대기 시간인 *Prepare*만큼 대기한 후 랜덤 시간(*Backoff^A*, *Backoff^B*) 대기한 후 각각 *Resp_{tx}^A*, *Resp_{tx}^B* 시간에 메시지를 전송한다. 태그는 *Resp_{tx}^A* 시간에 앵커 A의 Response 메시지를 수신받아 앵커 A와의 거리정보를 계산하고, *Resp_{tx}^B* 시간에 앵커 B와의 거리 정보를 계산할 수 있다.

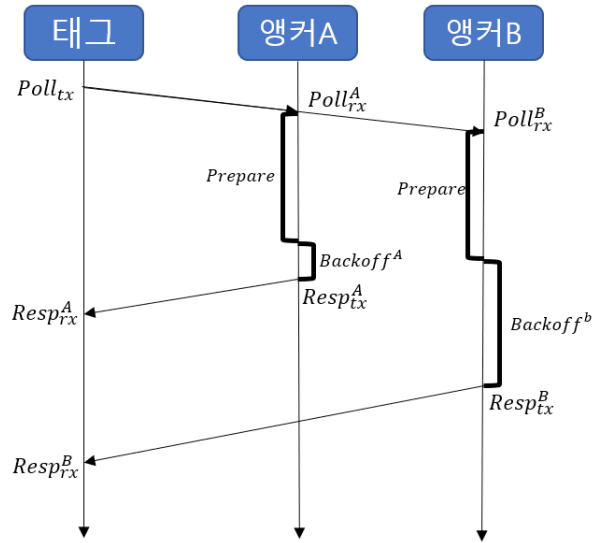


그림 1 제안기법

이 때 충돌 방지를 위해 적용한 백오프는 아래의 레인징 식(1)에 의해서 상쇄된다.

$$Range = \frac{(Resp_{rx} - Poll_{tx} + Backoff) - (Resp_{tx} - Poll_{rx} + Backoff)}{2} \quad \dots(1)$$

4. 실험방법

본 연구에서는 제안기법의 성능을 1:1 레인징을 수행하는 SS-TWR 와 비교한다.

실험은 Decawave 의 MDEK1001 디바이스에 Contiki os 기반의 코드를 활용하였다[3]. 최대 백오프 값은 1ms 로 설정하였다.

실험은 백오프와 레인징 오차의 상관관계 확인이다. 태그와 앵커간 거리 오차를 확인하기 위해 SS-TWR 과 제안기법을 각각 1000 회 시행하여 동일한 위치에 설치되어 있는 태그와의 거리 오차를 비교하였다.

5. 실험결과

그림 2 는 기존 1:1 레인징을 한 SS-TWR 과 1:2 레인징을 진행한 제안기법의 오차를 누적분포 그래프를 통해 표현한 것이다. 제안기법의 약 85% 가 오차 8cm 내에 분포하는 것을 확인할 수 있다.

이는 식(1)에서 설명했듯이 백오프로 인한 대기 시간은 수신에서

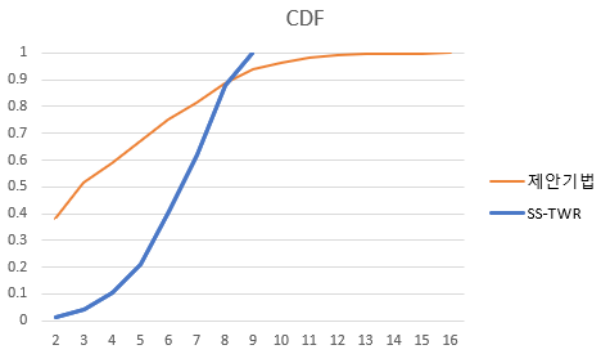


그림 2, 제안기법

모두 상쇄되므로 오차에 크게 영향이 없음을 의미한다.

표 1

레인지 성공	레인지 실패	성공률
975	25	97.5%

표 1은 제안기법의 1000회 거리 측정 중 거리측정 성공 횟수와 실패 횟수를 나타낸다. 1000회 중 975회 성공하여 동시 2대의 앵커와 통신하며 레인지 중 97.5%가 성공하였다. 이 중 25회는 백오프 시간이 *Prepare*과 겹쳐 받지 못하였거나 통신 충돌이 발생한 경우이다.

6. 결론

본 논문에서는 태그가 동시에 다수의 앵커와 레인지 할 수 있는 멀티 레인지 기법을 제안하였다. 제안기법을 사용할 경우 추가적인 스케줄링 없이 태그가 다수의 앵커와 레인지 할 수 있었다. 이는 측위 주기를 감소시켜 지속적으로 정확한 위치를 요구하는 어플리케이션과 넓은 지역에 앵커 다수가 설치된 환경에서 유의미하게 사용될 수 있을 것이다. 본 논문의 실험은 고정된 물체를 대상으로

소수의 디바이스를 활용하여 테스트하였다. 향후 본 제안기법을 다수의 장치들을 광범위하게 위치시켜 위치 서비스를 제공하는 환경에서 움직이는 물체에 적용하는 방안을 고안할 예정이다.

Acknowledgement

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학 ICT 연구센터육성지원사업의 연구결과로 수행되었음" (IITP-2023-2018-0-01431)

참고 문헌

- [1] G. M. Mendoza-Silva, J. Torres-Sospedra, and J. Huerta, "A metareview of indoor positioning systems," *Sensors*, vol. 19, no. 20, p. 4507, Jan. 2019.
- [2] M. Malajner, P. Planinšič and D. Gleich, "UWB ranging accuracy," 2015 International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IWSSIP), London, UK, 2015, pp. 61-64
- [3] Ridolfi, Matteo, et al. "Analysis of the scalability of UWB indoor localization solutions for high user densities." *Sensors* 18.6 (2018): 1875.
- [4] IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks—Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs), IEEE Standard 802.15.4-2011 (Revision of IEEE Std 802.15.4-2006), Sep. 2011, pp. 1-314.
- [5] B. Großwindhager, C. A. Boano, M. Rath and K. Römer, "Concurrent Ranging with Ultra-Wideband Radios: From Experimental Evidence to a Practical Solution," 2018 IEEE 38th International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS), Vienna, Austria, 2018, pp. 1460-1467
- [6] Alavala, Neeraj, et al. "PetTrack: Tracking Pet Location and Activity Indoors." *Proceedings of the 2022 Workshop on Body-centric Computing Systems*. 2022.