

# DS-TWR을 이용한 UWB 측위에서의 Preamble code division 기법

김동훈, 고영배\*

아주대학교

kdh94@ajou.ac.kr, \*youngko@ajou.ac.kr

## Preamble code division in UWB Ranging using DS-TWR

Kim Dong Hoon, Ko Yung-bae\*

Ajou Univ.

### 요약

본 논문은 동일 공간에서 DS-TWR 시도하는 UWB Anchor-Tag 세트 간 간섭으로 인해 발생하는 측위 손실 문제에 대하여 IEEE 802.15.4z에 추가된 Ranging Channel and Preamble Code Selection을 활용하여, 메시지 간 preamble code를 달리하는 기법을 제안한다. 제안 기법을 평가하기 위해 상용제품 중 하나인 DWM3001CDK를 이용하여 UWB Anchor-Tag 세트를 구성하여 다양한 실험을 진행하였다. 실험 결과는 UWB Anchor-Tag 세트 간 간섭으로 약 64.5%의 측위 손실률이 발생하는 환경에서 제안 기법을 적용하면 6.75%까지 측위 손실률을 크게 낮출 수 있는 것을 보여준다.

### I. 서론

Ultra-WideBand (UWB) 기술은 최근 기술 발전과 함께 그 활용 범위가 크게 확대되고 있다. UWB는 매우 넓은 대역폭을 사용하여 정확한 거리 측정 및 위치 추적이 가능하며, 또한 소형화와 경제성으로 인해 다양한 산업 분야에서 혁신적인 응용이 가능하다. 특히, 애플과 같은 대형 기업들이 자사 스마트폰이나 자동차 키에 UWB 칩을 적용하고 있다. 이를 통해 더 나은 보안 및 위치 기반 서비스를 제공할 수 있기에, UWB와 관련된 많은 연구가 이루어지고 있다.

UWB에 관한 많은 연구가 진행되었지만, IEEE 802.15.4a-2015 표준[1]에서 UWB 측위 손실 문제에 대처하는 방법이 많지 않았기에 multi-user와 anchor의 수가 증가할수록 발생하는 신호 간섭 때문에 측위 손실이 커지는 문제가 여전히 존재한다. 하지만 새로 도입된 IEEE 802.15.4z-2020 표준은 [2] 허용 Physical Layer(PHY) 구성의 개선으로 여러 가지 대안이 생겼다.

확장된 PHY 구성 중 Ranging Channel and Preamble Code Selection(RCPCS)을 이용하면 측위 손실률이 61% 이상 발생하는 간섭이 심한 환경에서 측위 손실률을 27.1%까지 줄일 수 있다[3]. 해당 연구는 표준에 대한 이론적인 부분에서 더 나아가 여러 가지 환경에서 실제 장비로 처음으로 실험을 진행한 것에 큰 의미가 있지만, RCPCS를 다양한 방법으로 사용하는 기법 자체는 제안하지 않는다. 본 논문은 해당 논문에서 더 나아가 UWB 측위에서의 측위 손실률을 더욱 줄이기 위해 RCPCS를 적극적으로 사용하여 Double Side Two-Way-Ranging(DS-TWR)에서 메시지 간 preamble code division 기법을 제안한다.

### II. 본론

본 논문에서 제안하는 preamble code division 기법은 802.15.4-2020 표준을 기반한 DS-TWR을 사용한다. 표준을 기반한 DS-TWR는 먼저 Tag와 Anchor가 BLE와 같은 side link로 pairing을 맺은 후, DS-TWR을 시작한다. DS-TWR는 Tag와 Anchor가 POLL, RES, FINAL 메시지를 교환하여 RF Time of Flight(ToF)를 계산한다. 또한, Tag에서 측위를

위해 추가적인 ADD 메시지 사용할 수 있다.

Tag는 FINAL 메시지 payload 안에 측정할 시간(POLL 메시지 송신 후 RES 메시지를 수신하기까지 걸린시간 -  $R_a$ , RES 메시지를 수신 후 FINAL 메시지를 송신하기까지 걸린시간 -  $D_a$ )을 넣어서 송신한다. Anchor는 FINAL 메시지를 수신 후, FINAL 메시지에 들어있던 시간( $R_a$ ,  $D_a$ )과 Anchor에서 측정한 시간(POLL 메시지를 수신하고 RES 송신하기까지 걸린시간 -  $D_b$ , RES를 송신 후 FINAL 수신까지 걸린시간 -  $R_b$ )을 이용하여 아래 식(1)과 같이 ToF를 계산할 수 있다.

$$Time\ of\ Flight = \frac{R_a R_b - D_a D_b}{R_a + D_a + R_b + D_b} \dots (1)$$

DS-TWR는 높은 측위 정확성을 보이지만  $R_a$ ,  $R_b$ ,  $D_a$ ,  $D_b$  중 하나라도 제대로 얻지 못하면 즉, 메시지 교환 중 하나의 메시지 교환이라도 정상적으로 이루어지지 않으면 ToF를 계산할 수 없어 측위 손실이 발생한다. 예를 들어 Tag가 POLL 메시지를 송신 후, Anchor로부터 RES 메시지를 기다리고 있을 때 다른 장비와 Anchor가 동시에 메시지를 송신한다면, Tag는 정상적으로 RES 메시지를 수신하지 못하여 ToF를 계산할 수 없다. 이러한 간섭 현상은 multi-user와 anchor 수가 증가하면 더욱 발생하고, 신호 간섭에 의한 측위 손실은 Anchor와 Tag가 1:1로 통신 50Hz 주기로 측위하는 공간에서 다른 장비가 100 Hz 주기로 메시지를 전송했을 시, 약 61% 정도 발생한다[3].

신호 간섭에 의한 측위 손실 문제를 해결하기 802.15.4z-2020 표준에서 RCPCS IE가 도입됐다. RCPCS IE는 사이드 링크를 통한 장비 간 동기화 시 교환 되는 패킷으로, Tag와 Anchor간 채널과 송/수신 preamble code를 지정한다. 현재 사용할 수 있는 채널은 5, 9가 있으며, 128 preamble에서는 4개의 preamble code(9, 10, 11, 12)가 사용할 수 있다.



그림 1 IEEE 802.15.4z standard UWB frame mode 0

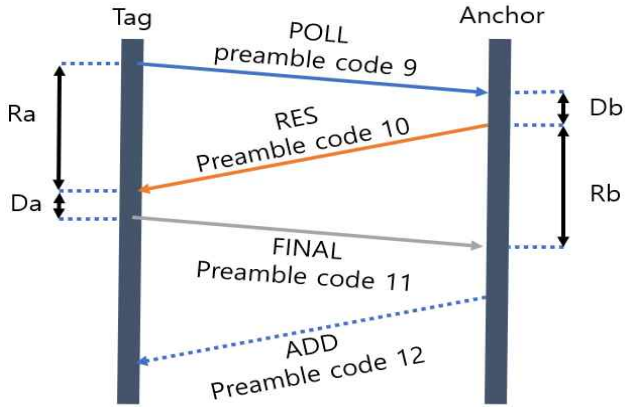


그림 2 제안 기법

preamble code는 그림 1과 같은 UWB frame 구조에서 가장 앞의 preamble symbol 들이 어떻게 구성되고 있는지를 나타낸다. RCPCS IE를 통해 수신 preamble code가 설정된 장비는 preamble symbol 감지 중, 설정된 preamble code와 다르면 payload를 읽기 전 해당 frame과의 sync를 포기할 수 있다. sync 포기 이후, 곧바로 다른 preamble symbol 감지를 시작한다. 본 논문에서는 도입된 RCPCS IE를 활용하여 그림 2와 같이 DS-TWR 메시지 교환 시에 Preamble Code Selection을 메시지마다 따로 적용하는 방식을 제안한다. 처음 사이드 링크를 통한 장비 간 동기화를 위해 RCPCS IE를 교환 시, 송/수신 preamble code를 각각 다르게 설정하여 POLL 메시지와 RES 메시지 교환을 한다. 이후, Final 메시지와 ADD 메시지를 POLL 메시지와 RES 메시지와는 다른 preamble code를 사용하여 송/수신한다. 예를 들어 RCPCS IE 패킷 내용이 채널 9, 송신 preamble code 9, 수신 preamble code 10이라면, Tag와 Anchor는 POLL, RES, FINAL, ADD 메시지 송신 시, preamble code를 각각 9, 10, 11, 12로 설정한다. 반대로 메시지 수신 시, 해당 preamble code로 메시지를 수신한다. 제안하는 preamble code division 통해 서로 다른 Tag-Anchor 세트 통신 중이여도 신호 간 간섭이 줄어 측위 손실률을 감소시킨다.

### III. 실험 결과 및 평가

본 논문에서 제안하는 기법에 대하여 평가하기 위하여 3가지 실험을 진행한다. 각 실험은 Qorvo사의 DW3110[4]이 들어간 DWM3001CDK로 Anchor Tag를 구성하며, 총 2개의 Anchor-Tag 세트로 실험을 진행한다. 같은 채널 환경에서의 실험을 위해 preamble code를 제외한 채널 구성은 채널 9, preamble symbol length 128, PRF 64MHz, Data rate 6.8Mbps, 측위 주기는 15ms로 모두 동일하게 설정하였다. 각 실험의 차이는 표1과 같다. 실험 A는 각 세트가 모두 같은 preamble code 9를 사용한다. 이는 같은 공간 안에 채널 구성이 똑같은 Anchor Tag set이 존재할 때, 측위 손실을 확인 할 수 있다. 실험 B는 Anchor Tag set이 서로 다른 Preamble Code 사용 시, 측위 손실에 어떤 변화가 발생할 수 있는지 확인할 수 있다. 실험 C는 제안 기법에 대한 실험으로, 세트 1은 POLL, RES, FINAL 메시지에 대한 preamble code를 각각 9, 10, 11로, 세트 2는 12, 11, 9를 사용한다.

각 실험은 Anchor-Tag 세트 2개가 동시에 회의 측위를 시도하고, 두 세트의 측위 손실률의 평균을 확인한다. 3가지 실험에 관한 결과는 그림2와 같다. 같은 공간 안에서 2개의 Anchor-Tag 세트가 DS-TWR을 시도한다면 약 64.5%의 측위 손실이 발생한다. 2개의 Anchor-Tag 세트가 서로 다른 preamble code로 DS-TWR을 시도한다면 세트 간 간섭이 줄어, 약

실험	Anchor-Tag 세트 1 Preamble code	Anchor-Tag 세트 2 Preamble Code
A	9	9
B	9	10
C	9(poll), 10(response), 11(final)	10(final), 11(response), 12(poll)

표 1 실험 별 preamble code 구성

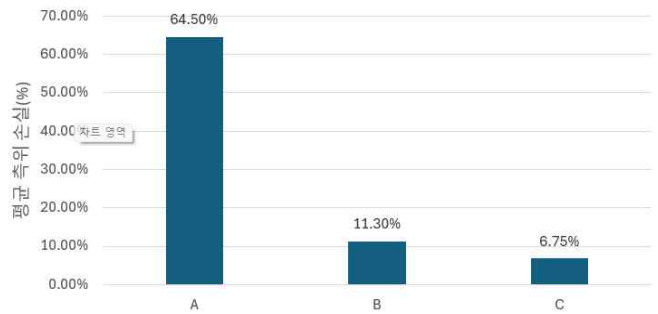


그림 3 실험 결과

11.3%의 측위 손실이 발생한다. DS-TWR 메시지에 각각 다른 preamble code를 적용한 제안 기법에 대한 실험 C의 결과는 약 6.75%의 측위 손실률로, 매우 낮은 측위 손실률을 보여준다.

### III. 결론

본 논문에서는 동일 공간에서 DS-TWR 시도하는 Anchor-Tag 세트 간 간섭으로 인해 발생하는 측위 손실 문제를 해결하기 위해 메시지 간 preamble code를 달리하는 기법을 제안하고, 제안 기법이 측위 손실률을 크게 낮출 수 있는 것을 보였다. 제안 기법을 좀 더 확장하여 Anchor-Tag 세트가 3개 이상인 상황이나 Anchor-Tag 세트가 1:1이 아닌 더욱 복잡한 상황에서 code division을 future work로 진행한다.

### ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the BK21 FOUR program of the National Research Foundation of Korea funded by the Ministry of Education(NRF5199991514504)

### 참고 문헌

- [1] IEEE. Standard for Low-Rate Wireless Networks, Std 802.15.4-2015 (Revision of IEEE Std 802.15.4-2011); IEEE: Manhattan, NY, USA, 2016.
- [2] IEEE. Standard for Low-Rate Wireless Networks - Amendment 1: Enhanced Ultra Wideband (UWB) Physical Layers (PHYs) and Associated Ranging Techniques, IEEE Std 802.15.4z-2020 (Amendment to IEEE Std 802.15.4-2020; IEEE: Manhattan, NY, USA, 2020.
- [3] Tiemann, Janis, Johannes Friedrich, and Christian Wietfeld. "Experimental evaluation of IEEE 802.15. 4z UWB ranging performance under interference." Sensors 22.4 (2022): 1643.
- [4] Qorvo. DW3110 UWB Transceiver Datasheet v1.3. 2020. Available online: <https://www.qorvo.com/products/d/da008142> (accessed on 9 May 2024).