

Phase Ranging에 기반한 차세대 Bluetooth 표준의 High Accuracy Distance Measurement

이일완 (주)지씨티 리서치 이사

1. Bluetooth-SIG의 표준화 활동에 대한 소개

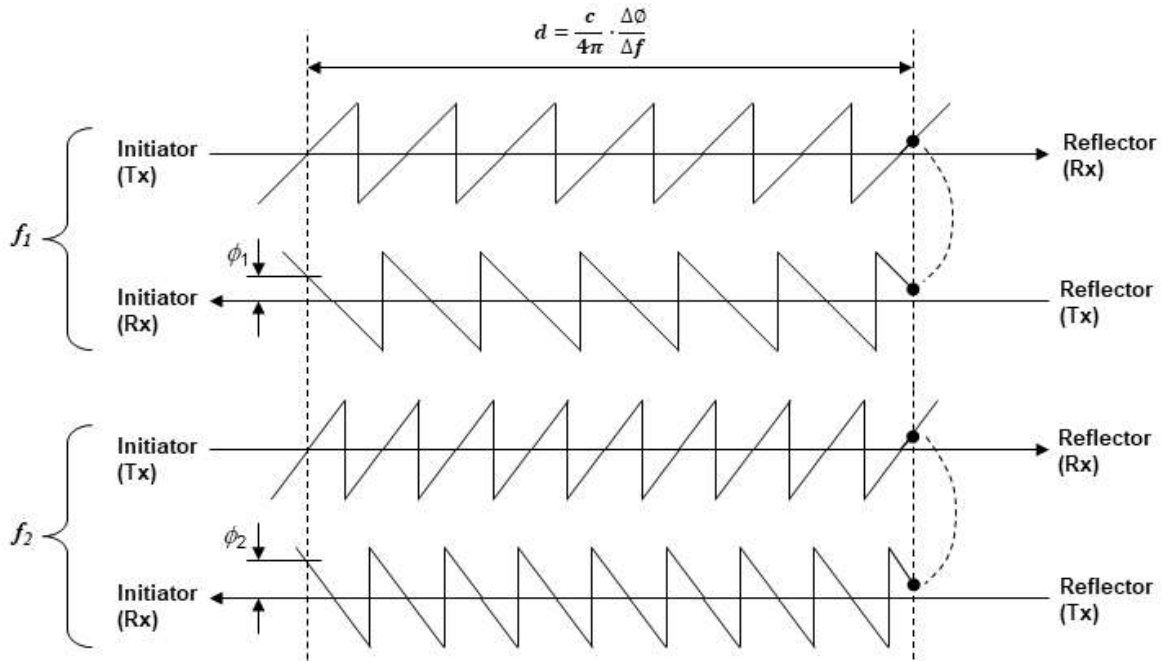
Bluetooth는 2000년대 초반부터 무선헤드셋 표준으로 채택된 이후 휴대폰을 포함하여 수많은 휴대형 기기에 광범위하게 사용되는 무선 통신 표준 기술이며 Bluetooth-SIG라는 사실표준화 기관이 이를 유지/관리하고 있다. 2017년까지 Bluetooth-SIG는 1년에 3차례의 UPF(UnPlugFest)와 1차례의 Working Group Summit에 표준화 회의를 비정기적으로 병행하는 방식으로 표준화 일정을 소화하였으나, 표준화 작업의 속도를 높이기 위하여 2018년도 하반기부터 1년에 1~2회 Working Group Meeting만을 위한 정기적인 이벤트를 신설하였고, 2018년 11월 몰타에서 Working Group Meeting이 개최된 이후 두 번째 이벤트가 2019년 3월 25일부터 4월 1일까지 파리에 개최되었다. 또한 2019년 6월 10일부터 13일까지 2년 마다 개최지를 변경하는 UPF의 서울 개최 2년 차로 UPF 63과 함께 많은 WG 회의가 개최되었다.

2. Bluetooth 표준의 최근 동향 및 Milan 버전(version)의 범위와 일정

Bluetooth-SIG는 원래 예정되었던 2018년 12월보다 한달 정도 지연된 2019년 1월 주 기능으로 direction finding이 추가된 v5.1을 발표하였다. 또한 여러 회사마다 다양한 자체 방식들로 구현하여 이미 시장에 출시된 TWS(True Wireless Stereo) head-set의 side-link의 추가적인 파편화를 막고자 Generic Audio Middleware와 이를 위한 Core 기능인 isochronous channel이 포함된 Milan 버전을 올해 말에 v5.2 또는 v6.0으로 발표하는 로드맵으로 표준화를 진행 중이다. 그 외에도 이번 회의에서 Milan 버전에서는 5.1의 GATT caching에 이어 EATT를 통해 보다 효율적인 Wearable 기기의 통신을 지원하고 Mesh Network의 효율성 제고와 아직까지 lighting에 국한된 응용 모델을 늘리기 위한 다양한 논의들이 있었다.

3. Sydney 버전에서 실내 측위 성능 개선을 위해 도입될 High Accuracy Distance Measurement

이와는 별개로 차세대 Bluetooth 표준인 Sydney 버전에는 다른 무선 통신 표준화 그룹에서도 모두 관심을 가지는 Wake-up Radio와 함께 위상차를 측정하는 phase ranging에 기반한 HADM(High Accuracy Distance Measurement)이 올해 상반기 두 번의 표준화 회의에서 특히 활발히 논의되었다.



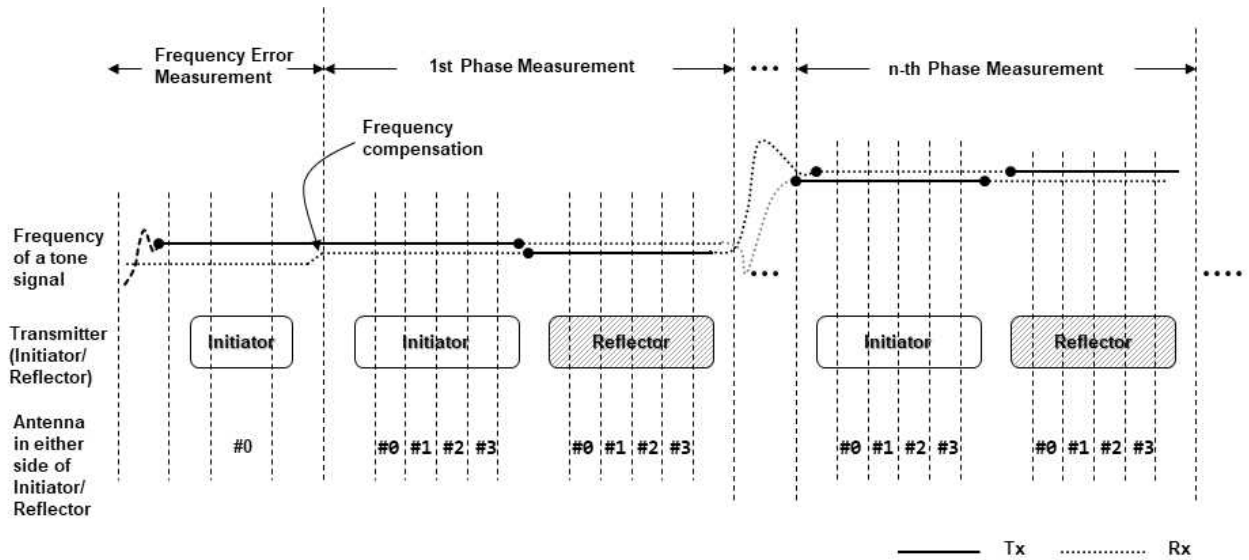
[그림 1] 반사되어 돌아온 신호의 위상차 측정을 이용한 거리 추정 방법

Phase ranging(위상차 측정을 이용한 거리 추정)은 laser range finder에서 pulse 기반의 ToF와 병행하여 laser beam을 연속 변조하는 방식으로 이미 널리 쓰이는 방식이다. [그림 1]에서 처럼 1개의 주파수만을 이용하면 한 파장 이상의 거리 차는 구별이 안 되기에, 1개 이상의 주파수를 써서 서로 다른 맥놀이의 위상차 패턴을 기반으로 중복이 되는 거리 범위를 두 주파수의 차이 또는 최소 공배수의 파장만큼 확장한다.

Phase ranging에서 reflector의 역할은 initiator와 최대한 반송파의 주파수와 위상에 맞추어 정해진 시간대에 반사파를 모사하여 initiator에 되돌려 보내는 것이다. initiator는 이렇게 반사되어 돌아오는 신호를 단일 안테나 또는 direction finding을 위해 안테나를 교체해가며 반사된 신호의 I/Q 신호를 저장한다. 위상차 계산은 initiator 쪽에서 추가 하드웨어를 이용하여 실시간으로 하거나 아니면 상위 layer 또는 서버 쪽에 보내 정확한 거리와 방향을 얻을 수 있다.

물론, phase ranging 방식이 제대로 동작하기 위해서는 reflector가 능동형일 경우 initiator와 reflector 간에 주파수와 위상이 가능한 작은 오차 범위 내에서 동기화되어야 한다. 이로 인해 과거 RF-PLL(phase locked loop) 이나 모뎀의 기술로는 이러한 능동형 reflector(또는 transponder)의 구현이 비현실적이라고 평가되었으나, $\Sigma\Delta$ -PLL의 사용으로 인해 정교한 주파수의 조정과 신속한 주파수 이동이 가능해진 오늘에 와서는 비용 증가의 부담을 감수하면 충분히 구현이 가능한 기술 수준이 되어 뒤늦게나마 다시 한번 조명을 받고 있는 시점이다. 또한 기간 편차를 제거하기 위해 v5.1의 direction finding에 사용된 CTE(Constant Tone Envelope)에 대비하여 [그림 2]에서와 같이 QTE(Quick Tone Exchange)로 명명된 절차에 따라 우선 주파수 보상을 수행한 이후 여러 주파수에서의 위상차를 측정하는 식으로 phase ranging을 적용한다.

Phase ranging이 도입됨으로써 협대역 통신에서의 거리 측정 방법이 수신 신호 레벨(RSSI, Received Signal Strength Indicator)이외에 보다 다양화되었고 광대역 방식인 WiFi나 UWB가 사용한 ToF 측정 방식을 혼용하여 phase ranging을 적용하는 범위를 줄여 원거리에서도 정확도를 일정하게 유지할 수 있게 되었다. 이런 세부적인 방식에 대해서는 3월 회의에서는 Lamba:4, IMEC이나 삼성을 시작으로 이번 6월 회의에서는 Metirionic, TI 등으로 참여회사가 늘어나면서 각자 다양한 방법들을 제시하고 장단점에 대해 활발한 분석과 논의가 진행 중이다.



[그림 2] Quick Tone Exchange 흐름도

4. High Accuracy Indoor Positioning 기술의 향후 전망

Bluetooth v4.0에 Low Energy가 도입된 이후 iBeacon과 같이 수신 신호의 크기만을 측정하는 proximity service를 시작으로 Bluetooth 기술에 기반한 실내 측위 시장은 전체 Bluetooth 시장에서 큰 비중은 아니라도 지속적으로 성장을 거듭하였다. 이후 다중 안테나를 이용한 다양한 실내 측위 시스템들이 시장에 나온 것에 맞추어 보다 저렴한 비용으로 실내 측위의 성능 개선을 할 수 있도록 올해 초 direction finding 기능이 추가된 Bluetooth v5.1의 발표로 이 시장의 성장은 더욱 기대되고 있다. 이런 맥락에서 보았을 때 Bluetooth에서 가장 최근에 가능성이 실험적으로 보고된 phase ranging까지 이용하여 실내 측위 성능을 지속적으로 개선하려는 움직임은 당장에 이 기술이 상용화되지는 않더라도 실내 측위 시장의 전망을 더욱 밝게 해주고 있다고 볼 수 있다.

2015년 802.15.4(Zigbee)의 환경에서 Phase Ranging 기반의 고정밀 측위 방법의 소개는 여전히 이동 속도 등에 대한 제약이 있기는 하나 high accuracy positioning을 위해 반드시 UWB나 WLAN과 같은 광대역 기술에 의존해야 한다는 고정 관념을 버릴 수 있는 계기를 마련해 주었다[1]. 이후 유사한 기술들이 아직 주요 표준에 적용이 되지 않는 못하였으나 IMEC이 phase

ranging기술을 BLE에 적용한 사례들의 발표[2]를 계기로 Bluetooth의 차세대 표준인 Sydney 버전에서 5.1에 도입된 다중 안테나 방식의 Direction Finding과 결합하여 phase ranging에 대한 논의가 활발히 진행되고 있음을 2019년 3월 파리 와 이번 6월 서울 WG 회의 참석을 통해 확인할 수 있었다. 현재 표준화 단계는 이제 막 FRD(Functional Requirement Document)가 끝나고 DIPD(Draft Improvement Proposal Document)단계에 있기에 국내의 업체들이 많은 관심을 가지고 적극적으로 참여하면 차세대 Bluetooth의 측위 분야에서는 국내 업체들이 지분을 늘릴 수 있는 좋은 기회라고 판단된다.

나아가 tone을 이용하는 방식은 Bluetooth v5.1의 CTE(Constant Tone Envelope)의 도입에서부터 보듯이 기존 packet의 뒷부분이나 아니면 QTE에서처럼 packet의 시작 전에 변조 없이 미리 Power Amp를 켜는 방식으로 확장한 구간을 이용하는 안들이 주로 제시되고 있다. 이는 기존 표준안의 변경을 최소화하기 위한 접근방법으로 이러한 방식은 역으로 기존 광대역 방식의 통신 표준에서도 추가적인 대역폭의 요구 없이도 보다 높은 정밀도를 얻기 위하여 이와 유사한 확장 방식의 도입이 될 가능성도 있다고 생각된다.

[참고문헌]

[1] Jacek Rapinski and Michal Smieja, "ZigBee Ranging using Phase Shift Measurements," The Journal of Navigation, vol. 65, pp. 665-677, 2015.

[2] Pouria Zand, et al., "A high-accuracy phase-based ranging solution with Bluetooth Low Energy (BLE)," IEEE Wireless Communication and Networking Conference, pp. 1-8, Apr 2019.