

UWB 기반 Concurrent Ranging 기법 분석

박지민, 박세웅
서울대학교

jmpark@netlab.snu.ac.kr, sbahk@snu.ac.kr

Analysis of UWB-based Concurrent Ranging Techniques

Jimin Park, Saewoong Bahk

Department of Electrical and Computer Engineering, INMC, Seoul National University

요약

본 논문은 높은 정밀도 기반으로, 다양한 거리측정 및 위치 추적 시스템에 사용되는 Ultra-Wideband (UWB) 기반의 가장 일반적인 거리측정 기법인 Two-way Ranging (TWR) 방식의 확장성 문제를 보였다. 또한 이 문제를 해결하기 위해 제안된 Concurrent Ranging 기법에 대해 설명하며 해당 기법에 대한 원리, 문제 및 연구 동향에 대해 분석한다.

I. 서론

Ultra-Wideband (UWB) 기술은 cm-단위의 거리 측정의 높은 정확도를 바탕으로 많은 위치추적 시스템에 사용되고 있다. 따라서 UWB 에 대한 대부분의 연구는 거리 측정의 정밀도 향상시키기 주로 진행되고 있다. 그러나 UWB 기반의 가장 널리 사용되는 거리 측정 방식인 Two-Way Ranging (TWR)은 두 거리 측정 대상 사이에 여러 번의 연속적인 메시지 교환을 요구하여 전체 시스템의 확장성(scalability)에 한계를 드러내고 있다. 이러한 확장성 문제를 해결하기 위해 Concurrent Ranging 기법이 제안되었으며, 이 기법은 하나의 장치와 다수의 장치 사이의 거리를 동시에 측정할 수 있도록 설계되어 확장성 문제를 해결하고자 한다. 본 논문에서는 해당 기법의 원리와 이를 실제로 구현하기 위해 고려해야 하는 제한점에 대해 분석하고, 이와 관련된 연구 동향 및 기법의 보완점에 대해 논의하고자 한다.

II. 본론

Impulse-Radio (IR) UWB 는 시간 영역의 해상도가 높아 다른 narrowband 대역의 RF 기반 기술들 보다 높은 거리 측정 정확도를 갖는다. UWB 를 이용한 가장 일반적인 거리 측정 방식은 TWR 로 매우 높은 정확도를 제공한다. 이 방식은 거리 측정을 원하는 노드가 POLL 메시지를 대상 노드에 전송하고 대상 노드는 RESPONSE 메시지를 보냄으로써 각 메시지의 송/수신 타임스탬프를 통해 두 노드 사이의 거리를 계산하는 방식이다. POLL 과 RESPONSE 메시지를 주고받는 노드는 메시지의 전파시간(time of flight, ToF)을 계산하여 거리를 측정하게 된다. UWB 의 타임스탬프는 15.65 ps 단위의 정확도를 가지기 때문에 TWR 은 매우 높은 거리측정 정확도를 갖게 된다.

그러나 이 방식에는 큰 제한점이 있다. 거리 측정을 위해 많은 양의 메시지를 교환해야 하므로 메시지 교환에 따른 오버헤드가 크다는 것이다. 따라서 여러 물체의 위치를 알아내기 위해서는 상당히 많은 양의 메시지 교환이 필요하다. 예를 들어 N 개의 노드와 거리를 측정하기 위해서는 최소 2N 개의 메시지

교환이 필요하게 되어 전체 시스템의 업데이트 속도를 제한하게 된다. 따라서 해당 방식은 시스템의 확장성 문제를 크게 겪는다.

따라서, 이 문제를 해결하기 위해 새로운 기법인 Concurrent Ranging [1] 이 제안됐다. 해당 기법은 여러 대상의 거리측정을 하는 경우 여러 번의 TWR 을 거치는 대신, 한 번의 거리측정 요청인 POLL 메시지에 대해 전체 노드들의 동시적인 RESPONSE 응답을 받아, 전체 노드들의 상대적인 거리를 한 번에 알아내는 방식이다. 즉 N 개의 노드들과 거리 측정을 하기위해 필요한 메시지는 N + 1 개이며, 이중 N 개의 메시지는 동시전송되기 때문에 더 빠른 업데이트 속도를 가진다.

이렇게 동시적인 RESPONSE 응답을 수신한 후, Channel impulse response (CIR) 를 분석하면 각각의 노드들에 해당하는 피크를 추출하여 동일하게 타임스탬프를 얻어내고, 여러 노드와의 거리측정을 동시에 할 수 있다. 그러나 이 기법을 실제로 사용 및 구현하는 데에는 세가지 문제가 있다. [2]

첫째, 응답자의 식별할 수 없는 문제이다. 즉, CIR 을 통해 확인한 여러 노드의 응답 피크를 식별할 수 없다. CIR 을 분석한다는 것은 각 노드들의 RESPONSE 에 해당하는 첫 번째 피크를 찾는 문제이다. 그러나 실제 응답자와 해당 피크를 대응시킬 수 있는 정보가 없기 때문에 여러 노드로부터 얻은 CIR 로부터 각 응답자를 매칭할 방법이 필요하다.

둘째, 거리가 유사한 노드의 경우 CIR 피크의 중첩이 발생하여 구분이 어려워지는 문제이다. 거리가 비슷한 노드들의 경우 유사한 위치에 CIR 피크가 발생하여 중첩되기 쉽다. 이 경우, CIR 로부터 의미 있는 거리 정보를 얻기 어렵다.

셋째, 멀티패스 반사에 의해 CIR 분석이 오류가 커지는 문제이다. 실제 UWB 신호의 CIR 의 경우 Line of sight 경로의 첫 번째 피크만이 남는 것이 아니라 해당 신호의 멀티패스 반사 정보도 포함되게 된다. 이

경우, 추후 들어오는 다른 노드의 RESPONSE 의 첫 피크와 멀티패스 반사 신호가 중첩되어 중요한 정보가 소실되거나 잘못된 피크를 인식하는 문제가 생길 수 있다.

이러한 세가지 문제를 해결하지 못하면 Concurrent Ranging 을 실제 시스템에서 사용할 수 없다. 따라서 많은 연구에서 이러한 문제를 해결하는 방안을 제안했다. [3] 각 RESPONSE 메시지를 전송하는 노드들 사이에 랜덤으로 전송 지연을 주어 이전에는 중첩될 수 있는 CIR 피크신호를 시간적으로 분리했다. 이를 통해 첫 번째 문제였던 응답자의 식별 불가능성을 해결했다. 스케줄링 기법을 통해 응답자의 RESPONSE 순서를 미리 예측할 수 있기 때문에 수신 노드는 CIR 피크와 응답자를 매칭할 수 있다. 또한, 충분한 전송 시간지연을 두어 중첩에 의한 오류가 해결함으로써 두 번째와 세 번째 문제도 해결했다.

그러나, 이 기법은 전체 노드들 사이에 높은 수준의 동기화를 요구하는 문제가 있다. 이를 해결하기 위해 해당 연구에서는 유선 연결 방식의 동기화를 진행했으나, 이는 실제 시스템에서 현실적으로 사용되기에 제한점이 있다. 또한 랜덤 전송 지연 및 스케줄링에 의한 추가적인 오버헤드가 발생하기 때문에 기존 TWR 과 같은 확장성 문제를 겪는다. 결국 Concurrent Ranging 을 실제 시스템에서 사용하기 위해 추가적인 연구가 필요하다.

III. 결론

본 논문에서는 기존 UWB 거리 측정 기법인 TWR 방식의 제한점을 설명하며 높은 정확도를 보이지만 여러 메시지 교환으로 인한 확장성 문제는 여전히 해결해야 할 과제를 보였다. 따라서, 확장성 문제를 해결하기 위해 제안된 Concurrent Ranging 기법을 소개했다. 그러나 해당 기법은 응답자의 식별 불가능성, 중첩 발생 그리고 멀티패스 반사 등의 문제로 인해 실제 시스템에 적용하는데 한계가 있다. 따라서 UWB 의 높은 거리 측정 정확도를 유지하면서 확장성 문제를 해결하기 위한 추가적인 연구와 개선이 필요함을 보였다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2022 년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2022R1A5A1027646).

참 고 문 헌

- [1] Pablo Corbalán, and Gian Pietro Picco, "Concurrent Ranging in Ultra-wideband Radios: Experimental Evidence, Challenges, and Opportunities," In Proc.of EWSN 2018
- [2] Bernhard Großwindhager, Carlo Alberto Boano, Michael Rath, and Kay Romer, "Concurrent Ranging with Ultra-Wideband Radios: From Experimental Evidence to a Practical Solution," In Proc.of International Conference on Distributed Computing Systems 2018
- [3] Bernhard Großwindhager, Michael Stocker, Michael Rath, Carlo Alberto Boano, and Kay Römer " SnapLoc: An