

UWB network 기반 실내 객체 측위 및 직관적 위치 정확도 검증 방법에 관한 연구

정인택, 장봉주
한국건설기술연구원 미래스마트건설연구본부
e-mail: jungintaek@kict.re.kr

A study on the method of positioning indoor objects based on UWB network and the method of intuitively verifying location accuracy

In-Taek Jung, Bong-Joo Jang
Dept. of Future & Smart Construction Research, Korea Institute of Civil Engineering and
Building Technology

요 약

본 논문에서는 초광대역 무선통신 기술인 UWB network를 이용한 실내 이동객체 측위 방법과 측위된 객체 위치의 정확도를 직관적으로 검증할 수 있는 방법을 제안하였다. 즉, 실제 현장에서 UWB network를 어떻게 설치하고 운영하는 지에 대해 설치 및 운영 프로세스를 제안하였으며, 또한 체크 보드 판을 이용하여 직관적 위치 정확도를 검증하는 프로세스도 제안하였다. 현장 실험을 통하여 본 논문에서 제안한 방법들을 구현 및 확인하였다. 향후 연구로는 머신러닝 기반 UWB 측위 알고리즘 개발과 복합센서(UWB+radar/IoT센서) 기반 실내 객체 측위 및 이벤트 탐지 기술 개발이 필요하다.

1. 연구의 배경 및 목적

UWB(Ultra-wideband)는 기존의 스펙트럼에 비해 매우 넓은 대역에 걸쳐 낮은 전력으로 대용량의 정보를 전송하는 초광대역 무선통신 기술이다.[1] 또한 UWB는 데이터 전송률이 높고, 정밀한 영역 추정과 물질을 관통하는 성질이 있어서 이론적으로는 다중경로 문제에 영향을 받지 않는다. 기존의 대표적 위치추적 시스템인 NLOS(Non Line Of Sight), GPS(Global Positioning System) 등은 실내환경 적용 문제, 법적인 문제와 신호강도 문제로 인해 실내 객체 측위에는 적합하지 않다. 초음파와 RF(Radio Frequency)의 조합은 잡음과 노이즈에 약한 특성을 보이지만, UWB는 무선통신 시스템에 간섭 없이 다른 라디오 통신 기술과 공존할 수 있는 무선 전송에 안전한 시스템으로 데이터 전송률이 높다. 전송 펄스의 짧은 주기는 센티미터 정도의 정확한 영역추정이 가능하도록 한다. 또한 전력 소모량을 적게 하여 저렴한 비용으로 통신시스템들을 구현할 수 있을 뿐만 아니라 다중경로 에너지도 포획할 수 있다. 이러한 특성 때문에 UWB는 실내 이동객체의 실시간 위치추적 응용에 적합하다.[2]

UWB 기술을 이용하면 근거리 무선기기 간에 무선통신뿐만 아니라, 무선기가 간의 거리를 측정하는 것이 가능하기 때문에 2019년 애플의 iPhone11에 UWB 칩이 탑재됨으로써 무선 통신보다는 측위를 활용한 서비스로 적용되고 있다. 현재는

칩 제조사인 Qorvo와 NXP에서 UWB 측위기능의 칩을 판매하고 있고, 애플과 삼성의 스마트폰에 UWB 기능이 탑재된 스마트폰을 출시하고 있다. 이러한 추세에 따르면 UWB 기술은 향후 자동차, 스마트 공장, 스마트 홈 등 다양한 분야에서 활발하게 활용될 것으로 전망된다.[3]

따라서, 본 연구에서는 초광대역 무선통신 기술인 UWB network를 이용한 실내 이동객체 측위 방법과 측위된 객체 위치의 정확도를 직관적으로 검증할 수 있는 방법을 제안하고자 한다.

2. 기존 문헌 고찰

김미경 등(2010)은 UWB 영역 기술과 파티클 필터를 이용한 이동객체의 위치추정 알고리즘을 제안하였다. 즉, 기존 위치추정 알고리즘들은 이동객체의 위치추정을 한 후에 예상되는 오차와 bias 값을 제거하였으나, 본 논문에서는 먼저 예상되는 UWB 영역 거리 오차를 제거하고 난 후에 이동객체의 위치를 추정하여 정밀도를 향상시켰다.[2] 공현민 등(2005)은 실내측위에서 적용되고 있는 UWB 기반 TDOA(Time Difference of Arrival) 알고리즘 중 대표적인 Taylor 전개식을 이용한 Least Square 알고리즘과 선형화 하지 않고 해를 구하는 Chan과 Ho의 알고리즘을 분석하고, 이를 UWB 실내 측위에 이용할 때 얼마나 정확한 위치를 추정할 수 있는지 시뮬레이션을 통해 분석하였다.[4] 권영구 등은 UWB 기반 3차원 실

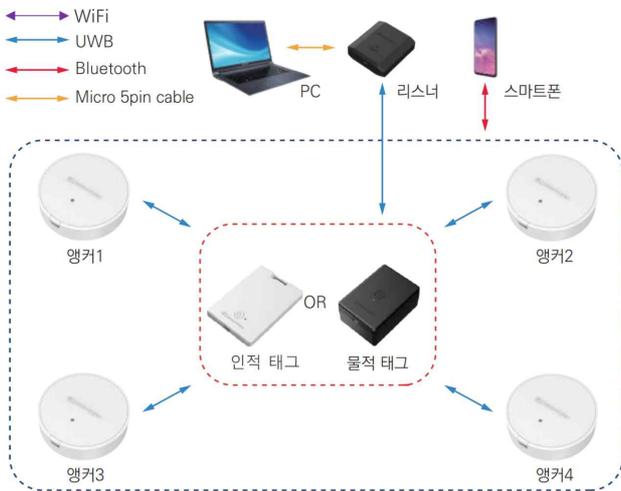
시간 고정밀 실내 위치 인식 알고리즘 및 UWB 실내측위 기반 복합 협업 포지셔닝 연구를 수행하였다. 이를 통하여, Reliable and Scalable UWB MAC 계층 설계 및 안정적인 UWB NWK 계층 프로토콜 설계에 관한 연구를 수행하여 오픈소스 기반 스마트폰 연동 UWB RTLS 플랫폼을 구현하였다.[5] 장병준 (2022)은 독자들이 최신 UWB 측위 기술을 체계적으로 이해 하는데 도움을 주고자 UWB 측위기술의 원리를 설명하고, 이를 바탕으로 최신 연구개발 및 상용화 동향을 제시하였다.[3]

앞서 살펴본 바와 같이 다양한 분야에서 UWB의 중요도와 활용도가 높아지고 있지만, 실제 현장에서 UWB network를 어떻게 설치하고 운영하는지 그리고 측위된 객체의 위치 정보의 정확도를 직관적으로 측정하는 방법에 대한 연구는 부족한 상황이다.

3. 연구방법론

3.1 UWB network 구성

실내 객체 측위를 위한 UWB 장비는 (인적, 물적)태그, 앵커, 리스너, PC(또는 스마트폰)가 필요하다. 각 장비별 네트워크 구성은 아래의 그림과 같다. 인적 태그는 사람(또는 동물)이 소지하거나 몸에 부착하여 위치정보를 앵커와 통신하는 장치를 말한다. 물적 태그는 각종 장비에 부착하여 위치정보를 앵커와 통신하는 장치를 말한다. 앵커는 높이를 2m 이상 5m 이하로 설치하고, 앵커 간의 간격은 20~25m로 설치한다. 그리고 태그와 앵커 간의 원활한 무선통신을 위하여 측위 위치 중간에 커다란 구조물이나 방해물이 없도록 한다. 리스너는 PC와 연결한 후, 앵커, 태그와 통신하여 위치정보를 수집할 수 있다. 마지막으로 PC와 리스너가 없이 스마트폰 앱을 이용하여 실시간 객체 위치를 확인할 수 있다.[6]

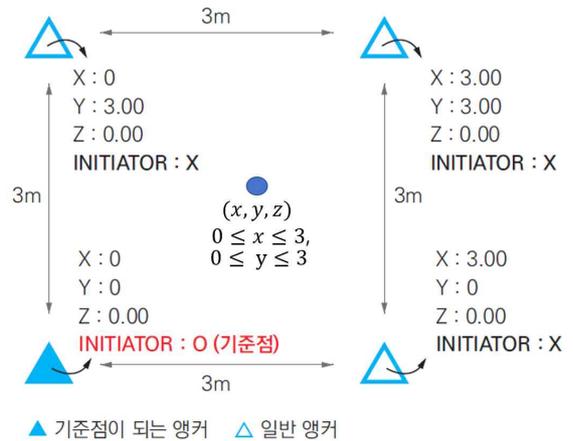


[그림 1] UWB network 구성[6]

3.2 UWB network 기반 실내 객체 측위 방법

UWB network를 이용한 실내 객체 측위 프로세스는 아래와 같다.

- (step 1) 실내 객체 측위를 위한 공간에 앵커들을 설치(앵커 설치높이 2m 이상 5m 이하, 앵커 간의 설치간격 20m~25m)
- (step 2) 모바일 앱 또는 GUI(Graphical User Interface)를 이용하여 앵커 좌표 입력 → 기준이 되는 앵커의 위치를 정하여 기준점(INITIATOR, (0,0,z₀))을 정하고, 기준 앵커로부터 거리를 측정하여 나머지 앵커들을 좌표(x_i,y_i,x_i)를 입력함)
- (step 3) 인적태그는 사람(또는 사물)이 소지 또는 부착하여 이동하고, 물적태그는 움직이는 장비 또는 자원에 부착하여 이동 → 앵커 설치 영역 안에서 이동
- (step 4) 모바일 앱 또는 GUI를 이용하여 앵커 설치 영역 안의 실시간 객체 위치 확인 → 태그별 실시간 위치 측위(1/10초 단위) 및 좌표 추출/저장 가능)



[그림 2] 앵커 영역 안에서의 객체 위치 표시 예

UWB 환경에서 앵커와 태그 간의 거리측정은 ToF(Time of Flight)로부터 거리 계산을 하며, 두 기기 사이의 거리(d)는 아래의 식을 통하여 구할 수 있다.

$$d = \text{ToF} \times c$$

ToF(Time of Flight) : 태그가 전파를 쏘고 앵커가 그 전파를 받을 때까지의 시간 차(sec)

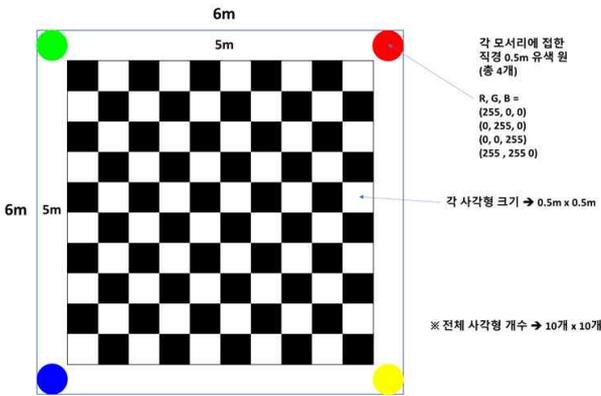
c : 광속(2.997 × 10⁸ m/s)

위의 식을 통하여 앵커들과 태그 간의 거리를 구하게 되면, 세 점으로부터의 직선거리 즉, 삼변측량을 통하여 태그의 위치 좌표를 구할 수 있다.

3.3 직관적 위치 정확도 검증 방법

측위된 객체의 위치 정확도를 직관적으로 검증하기 위하여 아래의 그림과 같이 체크 보드 판을 제작하였다. 전체 보드 판의 크기는 $6m \times 6m$ 으로 제작하였으며, 판 내부의 사각형의 크기는 $0.5m \times 0.5m$ 로 제작하였다. 여기서, 보드 판의 크기와 내부 사각형의 크기는 설치 공간의 여건에 따라 다르게 제작할 수 있다. 체크 보드 판을 이용한 직관적 위치 정확도 검증 프로세스는 아래와 같다.

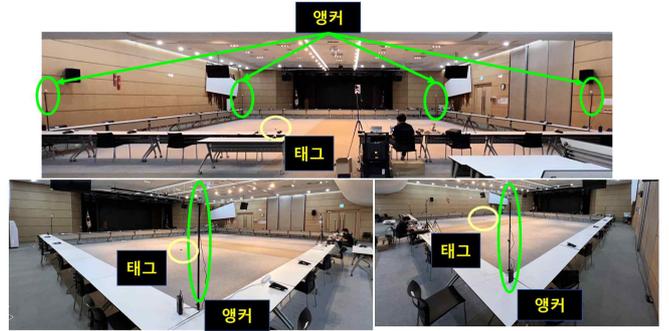
- (step 1) 실내 측위를 진행할 공간에 체크 보드 판을 깔고 모서리 4개 지점에 앵커 설치(필요시 삼각대, 배터리 등 설치)
- (step 2) 체크 보드 판이 다 보일 수 있도록 카메라 영상 장비 설치
- (step 3) 실험자가 태그를 소지한 채로 보드 판 내부에 정해진 경로에 따라 이동하여 위치좌표 추출(예: 대각선 방향으로 천천히 왕복 이동)
- (step 4) GUI를 통한 이동화면과 영상 촬영을 통한 이동화면을 직관적으로 비교하여 위치 정확도 확인 → 추출된 위치좌표의 산점도(scatter diagram)를 통하여 위치 정확도 검증



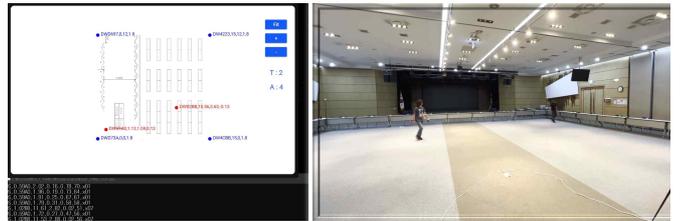
[그림 3] 위치 정확도 검증을 위한 체크 보드 판 제작 예

4. 현장 실험 및 결과

앞서 제시한 UWB network 기반 실내 객체 측위 프로세스에 따라 첫 번째 실험으로, 아래의 그림과 같이 실제 현장 ($15m \times 12m$)에 UWB network 장비를 설치(앵커 4개, 태그 2개, 리스너 1개)하고, 실험자가 태그를 소지한 후 앵커가 설치된 영역 내를 이동하면서 실시간 객체 측위 실험을 수행하였다. 그 결과 GUI에 태그별 위치좌표가 1/10초 단위로 수집되어 저장되는 것을 확인하였으며, GUI 맵과 스마트폰 앱을 통하여 태그 위치를 확인할 수 있었다.

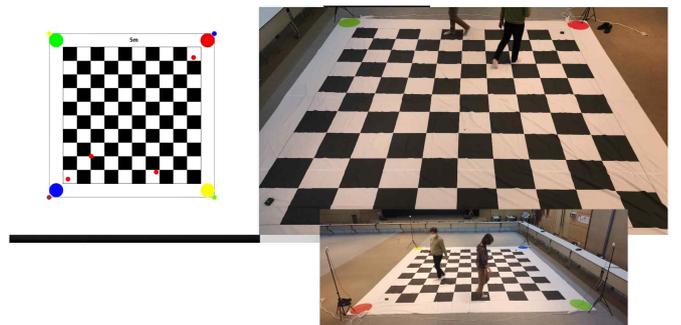


[그림 4] 실제 현장에서의 UWB network 설치 화면



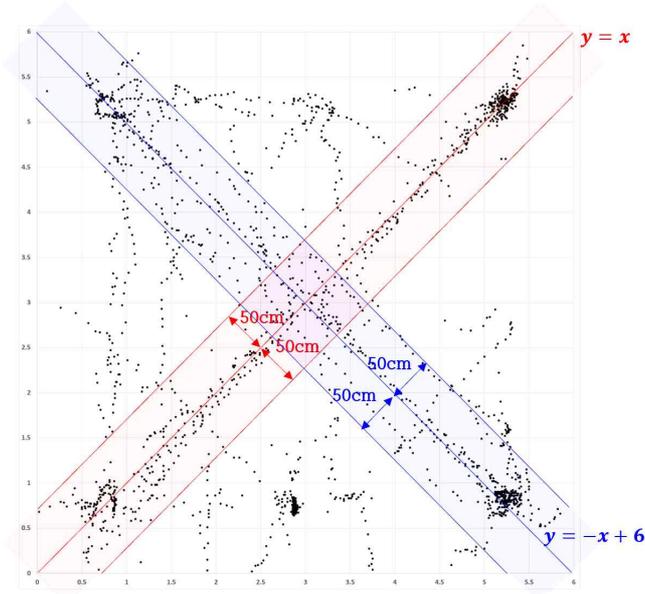
[그림 5] UWB network 기반 실내 객체 측위 실험 화면

두 번째 현장실험에서는 아래의 그림과 같이 $6m \times 6m$ 의 체크 보드 판 모서리에 앵커를 설치하고, 2개의 물적태그는 양쪽 모서리에 고정으로 위치해 두고 2개의 인적태그를 실험자가 각각 하나씩 소지하여 보드판 내부를 이동하면서 실내 측위 실험을 수행하였다. 그 결과 GUI를 통한 이동화면과 영상 촬영을 통한 이동화면으로 태그별 위치 정확도를 직관적으로 확인할 수 있었다. 또한 위치의 정확도가 판 내부의 사각형의 크기($\pm 50cm$ 이내) 안으로 모두 들어오는 것으로 확인하였다.



[그림 6] 체크 보드 판을 이용한 위치 정확도 검증 화면

상기 실험으로 추출된 태그별 위치좌표(1/10초 단위)의 산점도를 통하여 정확도 검증을 수행한 결과, 양쪽 대각선 방향으로 이동 시 모두 오차 범위가 $\pm 50cm$ 이내인 것을 직관적으로 확인할 수가 있었다.



[그림 7] 산점도를 이용한 위치 정확도 검증

아울러 실시간으로 측위 되는 태그별 위치좌표를 이미지 프로세싱 기법을 적용하여 체크 보드 판 위에 증강현실의 형태로 표출하였다. 그 결과 이전 실험보다 보다 더 직관적으로 위치 정확도를 검증할 수 있는 것으로 확인하였다.

5. 결론 및 향후 연구

본 연구에서는 실제 현장에서 UWB network를 어떻게 설치하고 운영하는지에 대해 설치 및 운영 프로세스를 제안하였으며, 또한 체크 보드 판을 이용하여 직관적 위치 정확도를 검증하는 프로세스도 제안하였다. 현장 실험을 통하여 본 논문에서 제안한 방법들을 구현 하였으며, 그 결과 UWB network의 위치 정확도가 직관적으로 $\pm 50\text{cm}$ 이내인 것으로 확인되었다.

향후 연구로는 머신러닝 기반 UWB 측위 알고리즘 개발과 복합센서(UWB+radar/IoT센서) 기반 실내 객체 측위 및 이벤트 탐지 기술 개발이 필요하다.

감사의글

본 연구는 한국건설기술연구원에서 수행 하고 있는 제조데이터 공동활용 플랫폼 기술개발(R&D) 중 “엔지니어 작업 노하우 디지털 라이브러리 관리 플랫폼 개발(2/2)” 과제의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

[1] 위키백과, <https://ko.wikipedia.org/wiki/초광대역>.
 [2] 김미경·전현식·염진영·박현주, “실내 이동 객체의 위치 정확도

개선을 위한 알고리즘”, 한국인터넷정보학회지, 제 11권 2호, pp. 61-72, 4월, 2010년.
 [3] 장병준, “UWB 측위기술의 원리 및 동향”, 한국전자과학기술논문지, 제 33권 1호, pp. 1-11. 1월, 2022년.
 [4] 공현민·성태경·권영미, “UWB 실내 측위를 위한 TDOA 위치결정기법”, 전자공학회논문지, 제 42권 1호, pp. 9-16. 1월, 2005년.
 [5] 권영구 등, “실시간 고정밀 UWB 기반 실내 위치 인식 시스템 연구”, 한국과학기술정보연구원 재도약연구 최종(결과)보고서, 9월, 2020년.
 [6] 로보프렌, “UWB 솔루션 사용자 매뉴얼 Version 1.3.06”, 2022년.