

UWB를 이용한 실시간 실내 객체 측위 및 정량적 위치 정확도 검증 방법에 관한 연구

정인택, 장봉주*

한국건설기술연구원 미래스마트건설연구본부

Research on Real-time Indoor Object Positioning and Quantitative Positional Accuracy Verification Method using UWB

Intaek Jung, Bong-Joo Jang*

Department of Future & Smart Construction Research,
Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

요약 본 연구에서는 초광대역 무선통신 기술인 UWB를 이용하여 실시간 실내 객체 측위 방법과 객체 위치의 정확도를 확인 및 검증하는 방법을 제안하였다. 첫 번째로, 실내 객체 측위를 위하여 UWB network를 실제 현장에 어떻게 설치하고 운영하는지에 대한 세부적인 설치 방법 및 장비 운영 프로세스를 제안하였다. 다음으로 본 연구를 위해 직접 제작한 격자 보드판을 이용하여 UWB 태그를 소지한 객체의 위치좌표 정확도를 바로 확인할 수 있으며, 그 결과를 정량적으로 검증할 수 있는 방법을 제안하였다. 제안한 두 가지 방법을 현장 실험을 통해 구현 및 검증하였다. 먼저 실내 현장에서 UWB network 장비를 제안한 방법으로 설치한 후, 태그를 소지한 실험자가 해당 공간을 이동하면서 위치좌표가 실시간으로 생성 및 수집되는 것을 확인하였다. 그 후, 격자 보드판을 이용하여 현장에서 수집되는 UWB 태그 위치의 정확도를 직관적으로 확인할 수 있었으며, 직선식과 거리식을 이용한 정량적인 위치 오차 값도 11.9~16.8cm의 범위인 것을 확인하였다. 이 결과를 통해, 작업자 안전 관리 등을 위한 실시간 실내 객체 동선 모니터링에 적용할 수 있을 것으로 기대한다.

Abstract This paper proposes a real-time indoor object position method and a method to check and verify the accuracy of object position coordinates using an ultra-wideband(UWB) wireless communication technology. The authors propose a detailed installation method and device operation process to install and operate a UWB network in an actual field for indoor object positioning. A method was developed to immediately check and quantitatively verify the position coordinate accuracy of objects carrying UWB tags using a grid board produced in this study. The two methods proposed in this study were implemented and verified through field experiments. After installing the UWB network device in an indoor site according to the proposed method, real-time location coordinates were generated and collected as an experimenter carrying a tag moved through the space. The accuracy of the UWB tag position collected in the field could be checked using a grid board, and the quantitative position error value using the straight line equation and distance equation was also confirmed to be 11.9 to 16.8cm. With this level of error, real-time indoor object movement monitoring will be possible for worker safety management.

Keywords : UWB, UWB Network, Object Positioning, Grid Board, Quantitative Verification

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

*Corresponding Author: Bong-Joo Jang(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology)
email: roachbj@kict.re.kr

Received October 20, 2023

Revised December 4, 2023

Accepted December 8, 2023

Published December 31, 2023

1. 연구의 배경 및 필요성

UWB(ultra-wide band)는 매우 넓은 주파수 대역폭을 가지는 초광대역의 무선통신 기술로써, 낮은 전력으로 세밀한 거리 측정 및 대용량의 정보 전송이 가능하다[1].

UWB는 1970년대부터 미국에서 통신, 레이더 등의 분야에서 군사적 목적으로 사용하기 위해 개발되었으며, 이후 군사보안이 해제됨에 따라 2000년대 이후로 상용화되기 시작하였다. 하지만 Wifi 등과의 경쟁에서 밀려 한동안 기술의 활용 범위를 넓히지 못했다. 최근 들어 UWB를 활용하면 무선기기 간에 거리를 측정할 수 있다는 장점 때문에 NXP, Qorvo 등에서 UWB 칩을 출시하였다. 주요 업체들의 스마트폰에 UWB가 탑재됨으로써, 다양한 활용성이 더욱 부각되어 본격적으로 대중화가 되기 시작하였다. 이러한 추세에 따르면 UWB 기술은 향후 모빌리티, 스마트 홈, 스마트 팩토리 등 다양한 분야에서 적용 및 활용될 것으로 전망된다[2].

UWB 신호는 데이터 전송률이 높고, 물질을 관통하는 성질과 정밀한 영역에 대한 추정이 가능하기 때문에 이론적으로 다중경로 문제에 영향을 받지 않는 장점이 있다. 또한 기존의 NLOS(non line of sight), GPS 등이 실내 환경 적용, 법적 및 신호강도 문제로 인해 실내 객체 측위에는 적합하지 않은 데 비해, UWB는 간섭 없이 다른 무선 통신 기술과 공존할 수 있는 안전한 시스템으로, 전송 펄스의 짧은 주기로 인해 센티미터 단위의 정확한 영역 추정이 가능한 특징이 있다. 아울러, 근거리 통신에서 낮은 전력 소모량과 저비용으로 통신시스템들을 구현할 수 있다. 이러한 특성들로부터 UWB는 실내 이동 객체의 실시간 위치추적에 적합한 기술로 각광받고 있다[3].

선행연구들에서는 UWB 응용을 위해 실내 객체 측위에 우수한 UWB를 실제 현장에서 어떻게 네트워크로 구성하고 운영할 것인지에 대한 세부적인 설치 방법 및 운영 프로세스를 제대로 설명하고 있지 않으며, 실제 현장에서 위치 오차를 파악하기 위하여 실험을 진행하면서 위치 정확도를 바로 확인이 가능하거나, 정량적으로 검증할 수 있는 방법을 제안한 사례도 미미하다.

그에 따라, 본 연구에서는 초광대역 무선통신 기술인 UWB를 이용한 실시간 실내 객체 측위 방법과 측위된 객체 위치의 정확도를 바로 확인할 수 있고, 정량적으로 검증할 수 있는 방법을 제안하고자 한다.

2. 선행연구 고찰

Kim et al. (2010)은 UWB 기술과 파티클 필터를 이용한 이동객체의 위치를 추정하는 알고리즘을 제안하였다. 기존 알고리즘들은 이동객체의 위치를 추정한 이후에 예측되는 오차와 bias 값을 제거하는 데 반해, 이 방법에서는 예측되는 UWB 영역 거리 오차를 우선적으로 제거하고, 그 이후에 이동객체의 위치를 추정함으로써, 위치추정 정밀도를 향상시켰다[3]. Kong et al. (2005)은 실내 측위에서 적용되고 있는 UWB 기반 TDOA(time difference of arrival) 알고리즘 중 대표적인 Taylor 전개식을 이용한 Least Square 알고리즘과 선형화 과정 없이 해를 구하는 Chan과 Ho의 알고리즘을 분석하고, 이를 UWB 실내 측위에 적용 시, 시뮬레이션을 통해 위치 정확도를 분석하였다[4]. Jiang et al. (2011)은 기존의 협대역 시스템과 비교하여 무선통신 접근방식으로서의 UWB 기술과 관련된 핵심 개념, UWB의 역사 및 UWB의 기술적 특징을 제시하였다. 아울러 건설을 포함한 여러 분야에서 UWB 기술을 적용한 사례를 제시하여 산업 성과에 미치는 영향을 분석하였다. 향후 UWB 기술은 매우 중요한 산업계 구성 요소가 될 것이며, 유비쿼터스 컴퓨팅에 광범위한 영향을 미칠 것으로 예상하였다[5].

Kim et al. (2017)은 UWB를 이용하여 밀폐된 실내 환경을 구축하기 위해 6종류의 실내 환경(개방공간, 복도, 사무실, 수직계단, 유리문, 방화문 등)에 대해 단일 UWB 모듈에 대한 실내 측위 성능평가를 수행하였다. 이 중 7번 채널의 주파수 대역(6489.6~1081.6 MHz)에서 통신 및 거리 성능이 가장 우수한 것으로 분석되었다[6]. Hong (2020)은 실시간 고정밀 측위에 사용되는 UWB와 IMU(inertial measurement unit) 센서를 결합하여 측정 대상의 위치와 자세를 측정하기 위한 시스템을 설계 및 구현하였다[7]. Jang (2022)은 최근 UWB를 이용한 측위 기술을 체계적으로 이해할 수 있도록 UWB 기술의 개념을 설명하고, 이를 바탕으로 최신 연구개발 및 상용화 동향을 제시하였다[8]. Rykala et al. (2022)은 UWB를 이용하여 무인지상차량(UGV, unmanned ground vehicle)의 실외 위치 파악을 위한 경로 설정 가이드를 도입하고 설정된 경로를 재현하였다. 즉, "따라가기" 시스템 구현 단계 중 UGV의 경로 설정 시스템을 구성하기 위해 UWB 데이터에 평활화 spline을 적용하여 가이드의 경로를 결정하였다. 구현된 평활화 spline을 사용할 경우, 최대 몇 초 동안 지속되는 데이터 결측 시 가이드 경로를 다시 생성할 수 있는 것으로 나타났다[9].

앞서 살펴본 바와 같이 다양한 분야에서 UWB의 중요도와 활용도가 높아지고 있지만, 실제 현장에서 UWB를 어떻게 설치하고 운영하는지 그리고 측위 된 객체의 위치 정확도를 현장에서 바로 확인할 수 있거나, 정량적으로도 검증할 수 있는 방법에 대한 연구사례는 미미하다.

3. 연구방법론

3.1 UWB network 장비 및 구성

실시간 실내 객체 측위를 위한 UWB 장비는 기본적으로 (인적 또는 물적) 태그, 앵커, 리스너, 그리고 PC와 스마트폰 등과 같은 위치 정보를 수집할 수 있는 장비가 필요하다.

인적 태그는 사람(또는 동물 등)이 소지하거나 몸에 부착하여 실시간 위치정보를 앵커와 통신하는 장치를 말한다. 물적 태그는 각종 사물 또는 장비에 부착하여 위치정보를 앵커와 통신하는 장치를 말한다. 앵커는 벽면, 거치대 등에 설치하여 그 위치값을 태그에게 알려줌으로써, 태그가 자신의 위치를 실시간으로 계산하도록 하기 위한 통신 장비이다. 리스너는 PC나 스마트폰과 연결한 후, 앵커, 태그와 통신하여 태그의 위치정보를 수집할 수 있다.

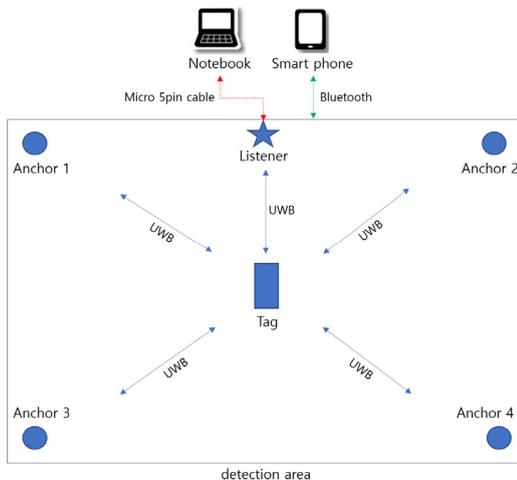


Fig. 1. Configuration of UWB network

현장에 설치해야 할 UWB network의 구성은 Fig. 1과 같으며, 설치된 태그, 앵커, 리스너 등을 통해 노트북과 스마트폰에서 실시간 객체 위치를 확인할 수 있다.

3.2 UWB network 기반 실시간 실내 객체 측위 방법

본 절에서는 실제 현장에서 UWB network 설치 및 이를 이용한 실내 객체 측위 방법을 아래와 같이 제안하였다.

- (step 1) Fig. 2에서 보는 바와 같이 실내 객체 측위를 위한 탐지 영역에 앵커를 설치하여, 앵커별 좌표(x, y, z)를 실측함. 앵커 설치 시, 벽면 등에 브라켓 및 나사를 이용하여 고정으로 설치하는 방법과 설치 위치에 거치대를 이용하여 임시적으로 설치하는 방법이 있음. 여기서, 앵커 설치높이는 2~5m, 앵커 간 설치 간격은 25m 이내로 함
- (step 2) 오픈소스로 제공하고 있는 스마트폰 앱(MYLO) 또는 GUI(Graphical User Interface) 프로그램(wpf UWB GUI.exe)을 이용하여 실측한 앵커별 좌표(x, y, z) 입력한 후, Fig. 2에서와 같이 설치된 앵커 중 기준점 앵커(앵커 3)를 선정하여 기준점 정보를 설정함(0, 0, 2), INITIATOR=ON]
- (step 3) 앵커를 설치한 탐지 영역 내에서 태그를 사용하되, 인적 태그는 사람이 소지 또는 부착하여 이동하고, 물적 태그는 장비 또는 자원에 부착하여 이동시킴
- (step 4) 리스너로부터 수집되는 태그좌표들을 이용하여 앵커 설치 영역 안의 실시간 객체 위치를 모니터링 할 수 있는, 태그별 실시간 객체 측위(1~10Hz 주기)

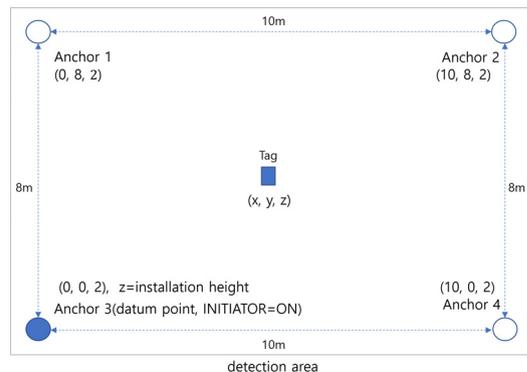


Fig. 2. Example of coordinate settings for each anchor

본 연구에서 태그 위치좌표는 TOA(time of arrival) 방식으로 측정한다. TOA 방식은 태그와 앵커 간의 신호가 도달하는 시간을 거리로 환산하여 태그 위치를 측정

하는 방식을 말한다. 즉, Fig. 3에서 보는 바와 같이 3개 이상의 앵커와 태그 간의 UWB 통신 신호의 도달시간을 측정하고, 이것을 각각의 앵커와 태그 간의 거리 ($d_1 \sim d_3$)로 환산한 후, 앵커별로 앵커가 중심이 되고 환산된 거리를 반지름으로 한 원을 그려 이 원들이 만나는 교점을 태그의 위치로 산출하는 방법을 말한다.

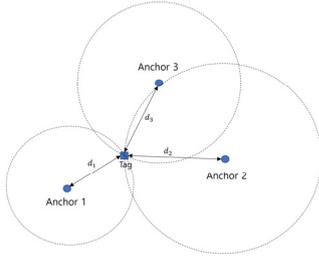


Fig. 3. TOA concept diagram

3.3 UWB 태그의 위치좌표 확인 및 검증 방법

본 연구에서는 Fig. 4에서 보는 바와 같이 측위된 객체의 위치 정확도를 정량적으로 검증하기 위하여 $5m \times 5m$ 의 격자 보드판(외부 여백을 포함, $6m \times 6m$)을 직접 제작하였다. 제작된 격자 보드판 내 사각형은 $50cm \times 50cm$ 의 정사각형으로 해당 사각형이 총 100개가 배치되도록 제작하였다.

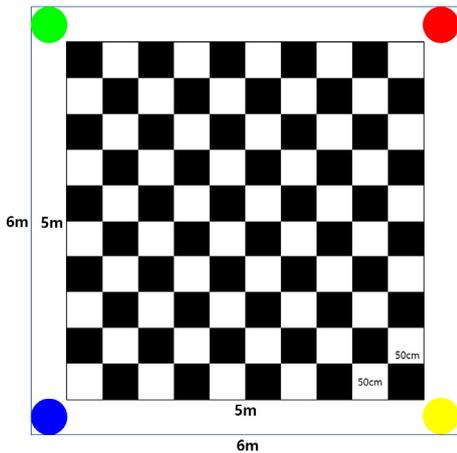


Fig. 4. Grid board to verify position accuracy

단, 격자 보드판의 크기와 내부 사각형의 크기는 설치 공간의 여건에 따라 다양한 크기로 제작할 수 있으며, 그 크기에 따라 앵커와 리스너의 설치 개수는 달라질 수 있다.

따라서, Fig. 4의 격자 보드판을 이용하여 실시간 객체 위치 정확도를 바로 확인하거나, 정량적으로 검증하는 방법은 아래와 같다.

- (step 1) 실내 측위를 진행할 공간에 격자 보드판을 깔고, 색깔별로 구분된 모서리 4개 지점에 앵커와 거치대를 이용하여 설치함(z값은 4개 지점을 동일하게 설치하며, 전압은 보조배터리 이용)
- (step 2) 3.2절의 step 1~2를 수행하여 기준앵커 (0, 0, z)로부터 각 앵커의 정확한 거리(Δx , Δy , z)를 앵커별 좌표값으로 설정
- (step 3) 격자 보드판이 다 보일 수 있도록 고정된 위치에 카메라 영상 장비 설치(드론 영상 촬영도 가능)
- (step 4) 실험자가 UWB 태그를 소지한 채로 격자 보드판 내부의 정해진 경로(예: 대각선 방향으로 왕복으로 반복하여 이동)에 따라 반복적으로 이동하여 실시간 위치 좌표 생성 및 추출
- (step 5) 리스너로부터 수신되는 좌표들을 미리 이미지화한 격자 보드 상의 좌표계로 변환한 후, 실험자가 실제 격자 보드 위를 이동하는 위치와 격자보드 이미지상에서 변환되어 이동하는 태그 좌표를 현장에서 서로 비교함으로써 확인 및 검증함(드론, 카메라 등으로 촬영한 영상과도 비교 가능)

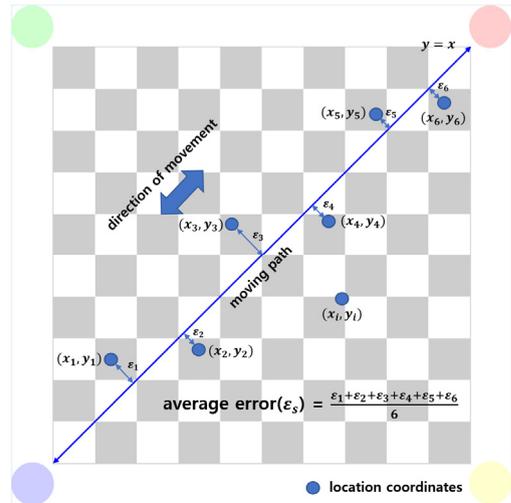


Fig. 5. Position error calculation using straight line equation

- (step 6) 만약 실험자가 UWB 태그를 정중앙에 소지하고 대각선에 따라 이동을 반복할 경우, 위치 오차가 발생하지 않는다면 태그의 위치 좌표가 대각선

상에 위치해야 함. 따라서 해당 위치 오차를 측정하기 위해서는 대각선으로부터 추출된 위치 좌표들이 얼마만큼 떨어져 있는지를 측정해야 함. 그 측정 방법은 직선식과 거리식으로 측정하고자 함

- (step 6-1) 직선식을 이용한 위치 정확도는 Fig. 5에서와 같이 산점도를 이용하여 대각선($y = x$)으로부터 떨어진 위치 좌표들에 대한 직선거리의 평균값으로 산출함. 여기서, 위치 좌표는 실험시간 동안 추출된 태그의 위치 좌표를 말함. 직선식을 이용한 위치 정확도(ϵ_s , cm)는 Eq. (1)과 Eq. (2)로 산출함

$$\epsilon_s = \frac{\sum_{i=1}^n (\epsilon_i)}{n} \quad (1)$$

$$\epsilon_i = \frac{\sqrt{2(y_i - x_i)^2}}{2} \quad (2)$$

Where, ϵ_s average of total position error using straight line equation, ϵ_i positioning error at i coordinate, n number of position coordinates received

- (step 6-2) 거리 식을 이용한 위치 정확도 산출의 경우, Fig. 6에서와 같이 대각선($y = x$)으로부터 x 축 또는 y 축으로 떨어진 위치 좌표들에 대한 거리의 평균값으로 산출함

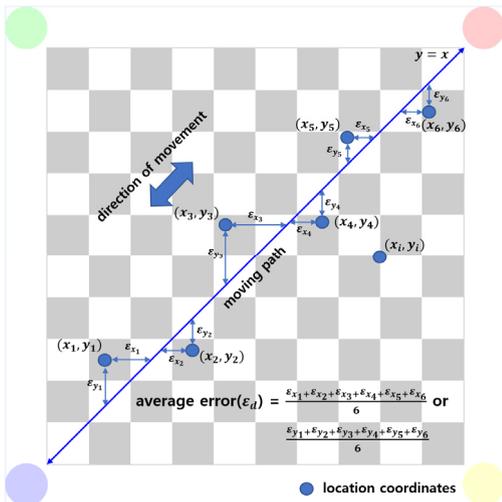


Fig. 6. Position error calculation using distance equation

거리식을 이용한 위치 정확도(ϵ_d , cm)는 Eq. (3) ~ Eq. (5)로 산출함

$$\epsilon_d = \frac{\sum_{i=1}^n (\epsilon_{x_i})}{n} \text{ 또는 } \epsilon_d = \frac{\sum_{i=1}^n (\epsilon_{y_i})}{n} \quad (3)$$

$$\epsilon_{x_i} = /x_i - x/ = /x_i - y_i/ \quad (4)$$

$$\epsilon_{y_i} = /y_i - y/ = /y_i - x_i/ \quad (5)$$

Where, ϵ_d average of total position error using distance equation(x -axis distance or y -axis distance), ϵ_{x_i} distance error in the x -axis direction for the i coordinate, ϵ_{y_i} distance error in the y -axis direction for the i coordinate, n number of position coordinates received

4. 현장 실험 및 분석 결과

앞 장에서 제시한 UWB network 기반 실시간 실내 객체 측위 방법과 UWB 태그의 위치좌표 확인 및 검증 방법에 대한 현장 실험을 수행하였다.

첫 번째 실험은 Fig. 7과 Fig. 8에서와 같이 실제 현장(15m×12m)에 UWB network 장비를 설치(앵커 4개, 태그 2개, 리스너 1개)하고, 실험자가 UWB 태그를 정중앙에 소지한 후 앵커가 설치된 영역 내를 이동하면서 실시간 객체 측위 실험을 수행하였다. 이때, UWB network 장비를 현장에 설치하기 위한 제한 조건은 아래와 같다.

- 앵커 설치 높이 : 2~3m
- 앵커 간 설치 간격 : 15~20m
- 앵커 설치 방법 : 벽면(브라켓/나사 활용), 거치대 등
- 앵커 전원 공급 : 상시 전원 연결이 필요하나, 이동형 배터리를 이용한 임시 전원 연결도 가능(5V, USB 3.0)
- 태그 위치 : 태그를 바닥에 놓지 않고, 쇠구조물과 같이 놓이지 않게 위치함
- 리스너 개수 : 일반적으로 1개만 적용하면 되나, 탐지영역에 크기에 따라 n 개 적용 가능
- 데이터 통신 방법 : MQTT, HTTP 등
- 기타 고려사항 : 탐지영역 중간에 높은 장애물이 없도록 설치 필요

본 실험에서 각 모서리에 설치된 앵커의 거리를 넓히거나 좁히는 방법으로 태그 위치가 수신되는지를 확인하였으며, 장애물이나 벽이 없는 공간에서 태그로부터 최대 20m 이내에 3개의 앵커가 통신이 될 때, 태그의 위치가 정확히 수신되는 것을 확인하였다.

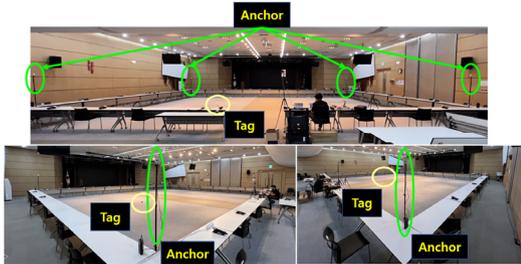


Fig. 7. Field installation of UWB network

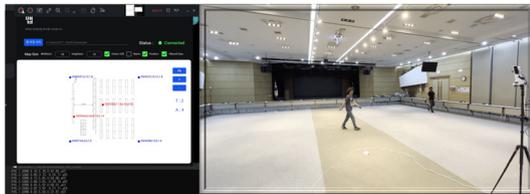


Fig. 8. Indoor positioning experiment based on UWB network

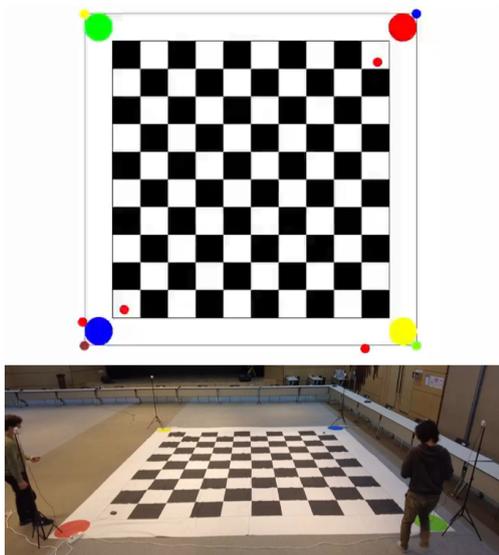


Fig. 9. Verification of position accuracy using check board

두 번째 실험에서는 Fig. 9에서와 같이 $5m \times 5m$ 격자 보드판 모서리에 앵커 4개를 설치하고, 2개의 물적태그는 양쪽 모서리에 고정으로 위치해 두고 2개의 인적태그를 실험자가 각각 하나씩 소지하여 격자 보드판 내부를 이동하면서 실내 측위 실험을 수행하였다.

그 결과, 이미지로 생성한 격자보드 영상과 촬영된 영상 속의 격자 보드판을 통하여 태그별 실시간 위치 정확도를 현장에서 그 즉시 확인할 수 있었다. 태그별 위치의 정확도가 격자 보드판 내부 사각형의 크기 안으로 모두 들어오는 것으로 확인하였다.

또한, 상기 실험에서 UWB 태그의 위치 정확도를 정량적으로 산출하기 위하여 Fig. 10에서와 같이 실험자가 태그를 정중앙에 소지하고, 두 방향의 대각선을(path 1, path 2) 따라 반복적으로 이동하면서 태그의 위치 좌표를 생성 및 수집하였다. 만약 UWB 태그의 위치 오차가 발생하지 않는다면, 태그의 위치 좌표들은 모두 대각선상에 위치해 있어야 한다. 그렇지 않을 경우에는 위치좌표 오차가 발생하게 되는데 이를 측정하기 위하여 직선식과 거리식으로 각각 위치좌표 오차를 산출하였다. 여기서, path 2의 태그 위치 좌표는 path 1의 x 축과 y 축으로 변환하여 위치좌표 오차를 산출하였다.

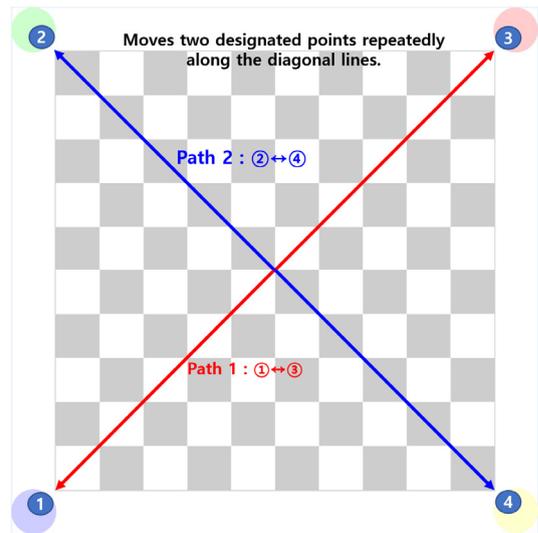


Fig. 10. Diagonal movement path to measure position error

산출 결과는 Table 1과 같으며, UWB 태그의 전체 위치좌표 개수는 1,521건으로, 직선식을 이용한 오차(ϵ_s)는 11.9cm로 나타났으며, 거리식을 이용한 오차(ϵ_d)는

16.8cm로 나타났다. 이 결과를 통해, 작업자 안전관리 및 스마트 팩토리 구현을 위한 실내 실시간 객체 이동동선 탐지 및 모니터링을 할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 본 실험을 통하여 수집된 태그의 위치 좌표들을 산점도로 나타낸 결과는 Fig. 11과 같으며, 전체 위치 정확도가 11.9~16.8cm인 것을 확인할 수 있었다.

Table 1. Field experiment results

Spec.		Position error(cm) (path 1+path 2)
Total number of coordinates		1,521
Position accuracy	Straight line equation(\mathcal{E}_s)	11.9
	Distance equation(\mathcal{E}_d)	16.8

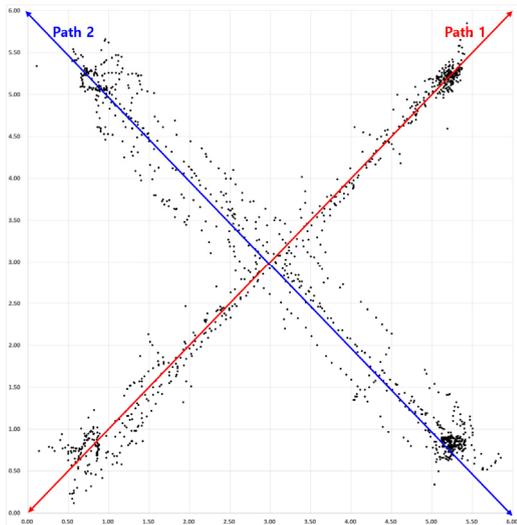


Fig. 11. Verification of position accuracy using scatter diagram

5. 결론 및 향후 연구

본 연구에서는 실내 객체의 실시간 이동동선 탐지를 위하여 실제 현장에서 UWB network를 어떻게 설치하고 운영하는지에 대한 세부적인 설치 및 운영 프로세스를 제안하였으며, 본 연구에서 직접 제작한 격자 보드판을 이용하여 객체의 위치 정확도를 바로 확인할 수 있고, 정량적으로 검증할 수 있는 프로세스도 제안하였다.

본 논문에서 제안한 UWB network 기반 실시간 실내 객체 측위 방법과 UWB 태그의 위치좌표 확인 및 검증

방법을 현장 실험을 통하여 구현하였다. 그 결과, 직선식을 이용한 오차는 11.9cm로 나타났으며, 거리식을 이용한 오차는 16.8cm로 나타났다. 이 결과를 통해, 실내 실시간 객체 이동동선 탐지 및 모니터링이 가능할 것으로 판단된다. 아울러 본 연구 방법론을 통하여 실내 작업자 안전관리 및 스마트 팩토리 구현도 가능할 것으로 기대한다.

향후 연구로는 딥러닝 기반 UWB 측위 알고리즘 개발과 복합센서(UWB+radar/LiDAR/IoT센서) 기반 실내 객체 측위 및 이벤트 탐지 기술 개발을 진행할 계획이다. 아울러 작업자 이동동선 탐지 및 모니터링을 위하여 건설 현장 등 실외에서의 실시간 객체 측위 연구도 필요할 것으로 판단된다.

References

- [1] Wikipedia, <https://ko.wikipedia.org/wiki/초광대역>
- [2] D. Kim, *Design and Implementation of IEEE 802.15.4a UWB based Indoor Positioning System*, Master's thesis, Department of Information and Communication Engineering Graduate School of Chosun University, Korea, 2016.
- [3] M. Kim, H. Jeon, J. Yeom, H. Park, "An Improvement for Location Accuracy Algorithm of Moving Indoor Objects", *Journal of Internet Computing and Services*, Vol.11, No.2, pp.61-72, 2010.
- [4] H. Kong, T. Sung, Y. Kwon, "Comparison of TDOA Location Algorithms for Indoor UWB Positioning", *Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers*, Vol.42, No.1, pp.9-15(7 pages), 2005.
- [5] S. Jiang, M. J. Skibniewski, Y. Yuan, C. Sun, Y. Lu, "Ultra-wide band Applications in Industry: A Critical Review", *Journal of Civil Engineering and Management*, Vol. 17, No. 3, pp.437-444, 2011. DOI: <https://doi.org/10.3846/13923730.2011.596317>
- [6] D. Kim, C. Kim, "The Evaluation of UWB Wireless Communication Position Determination Function in an Enclosed Space for Fire Fighting", *Korean Institute of Fire Science & Engineering*, Vol. 31, No.5, pp.117-122, 2017. DOI: <https://doi.org/10.7731/KIFSE.2017.31.5.117>
- [7] H. Hong, *A Study on the Performance Improvement of UWB-based Positioning System by IMU Sensor Combination*, Master's thesis, The Graduate School of Hanyang Univ., Korea, 2020.
- [8] B. Jang, "Principles and Trends of UWB Positioning Technology", *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, Vol.33, No.1, pp.1-11, Jan. 2022. DOI: <https://doi.org/10.5515/KJKIEES.2022.33.1.1>

- [9] L. Rykala, A. Typiak, R. Typiak, M. Rykala, "Application of Smoothing Spline in Determining the Unmanned Ground Vehicles Route Based on Ultra-Wideband Distance Measurements", *Sensors*, 22(21), 8334, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/s22218334>

정 인 택(Intaek Jung)

[정회원]



- 2009년 2월 : 서울대학교 환경대학원 환경계획학과 (도시계획학 석사, 교통관리 전공)
- 2016년 2월 : 서울대학교 환경대학원 환경계획학과 (도시계획학 박사, 교통학 전공)

- 2016년 2월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 미래스마트건설연구본부 수석연구원

<관심분야>

교통공학, AIoT 센싱, 교통안전, 스마트시티, 빅데이터

장 봉 주(Bong-Joo Jang)

[정회원]



- 2004년 2월 : 부산외국어대학교 전자컴퓨터공학과 (공학석사, 영상처리 전공)
- 2013년 7월 : 부경대학교 정보보호협동과정 (공학박사, 멀티미디어 정보보호 전공)

- 2013년 7월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 미래스마트건설연구본부 수석연구원

<관심분야>

재난 안전, AIoT 시스템, 멀티미디어 신호처리, 임베디드 시스템