

# 모바일 로봇의 실내 측위를 위한 UWB/Vision 네트워크 최적화와 측위 정확도 분석

조수연, 정도연, 김의호\*  
홍익대학교, \*홍익대학교

sooyonjo@naver.com, 96c@naver.com, \*euihokim@hongik.ac.kr

## UWB/Vision Network Optimization for Indoor Positioning of Mobile Robots and Analysis on Positioning Accuracy

Cho Su Yeon, Jung Do Yeon, Kim Eui Ho\*  
Hongik University., \* Hongik University.

### 요 약

본 논문에서는 모바일 로봇의 실내 주행을 위한 측위 시스템으로 UWB/Vision 네트워크를 제안한다. 실내 주행환경을 구성하고, 설치될 센서의 개수와 측위 오차를 최소화하는 네트워크를 찾아내기 위하여 다중 목적 적합도 함수를 갖는 유전알고리즘을 사용하였다. 이에, 모바일로봇의 전 주행경로에서 10cm 이내의 측위 정확도 결과를 보이며 센서 네트워크의 타당함을 입증하였다.

### I. 서 론

실내 환경은 위성 신호 수신에 불능하기 때문에 이를 대체할 새로운 측위 기술이 필요하다. 전파 기반 측위 기술이 보편적으로 사용되나 오차가 매우 커서 이를 보완할 다른 센서의 도입이 필요하다.

본 논문에서는 모바일 로봇이 실내 환경에서 측위하기 위한 UWB/Vision 센서 네트워크를 최적화하고 그 성능을 평가한다. 카메라 비전 시스템에서는 기준 마커를 활용한 호모그래피 기반 측위 기법을 활용한다. 기준 마커란 실내와 같이 자연적인 특징이 부족한 환경에서도 빠르고 정확한 측위를 가능하게 하는 인공 랜드마크이다.

UWB (Ultra-wideband)는 넓은 주파수대역에서 짧은 펄스를 이용해 정보를 전달하는 단거리 무선 통신 기술이다. 전력 소모가 적고 다중 경로 페이딩의 영향이 적기 때문에 실내 측위를 위한 통신센서로 사용하려는 연구가 다양하게 이루어지고 있다. 그러나 UWB 를 단독으로 사용했을 때 특정 구간에서 DOP 가 커지는 한계가 존재한다. 또한, UWB 센서는 배치에 따라 측위 성능이 달라지므로 이를 최적화하는 과정이 필요하다. [1]

UWB 센서와 기준 마커의 배치 형태를 최적화하기 위하여 유전 알고리즘을 사용하였고, 해당 배치에서 계산되는 모바일 로봇의 주행 경로의 위치 정확도를 분석하였다.

칩은 DW1000, 함께 사용된 안테나는 WB002 이다. 4GHz 주파수 대역에서 송신전력  $-41.3\text{dBm}/500\text{Mhz}$ , 수신민감도  $-102\text{dBm}/500\text{Mhz}$  의 사양을 가지고 있다. 사용한 모바일 로봇은 WeGo 로봇틱스의 모바일로봇으로 설정하였고, 모바일 로봇의 경로 구성 시 본체 위에 설치된 카메라와 UWB 안테나의 높이를 반영하였다.



그림 1. 기준 마커 AprilTag 와 Decawave 사의 TRKE1000, WB002 안테나, 모바일 로봇

### 2. 네트워크 구성 환경 설정

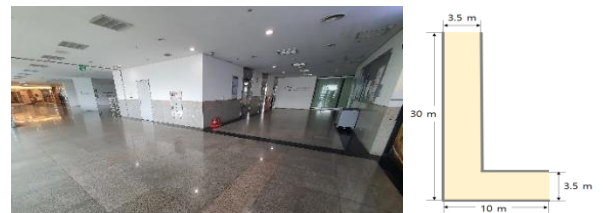


그림 2. 홍익대학교 R동 2층 복도 환경

홍익대학교 교내의 꺾인 복도를 센서 배치 환경으로 설정하고 맵을 제작하였다. 복도의 폭은 3.5 m, 복도의 길이는 각각 30 m, 10 m, 그리고 복도의 높이는 3 m 이다. 기준 마커의 포즈 추정 성능은 정면에서 볼수록 정확도가 높아지므로 이를 고려하여 기준 마커를 벽면이 아닌 천장에 배치하도록 결정하고, 천장을 1 m 간격으로 나누어 UWB 와 기준 마커를 배치할 후보 영역 지점들을 구성하였다. 그러나 카메라의 시야각을 고려하여 기준 마커의 배치 영역은 복도의 중앙부로 제한하였다. 오차

### II. 환경 설정

#### 1. 사용 센서와 기구 스펙

사용 기준 마커는 AprilTag 이다. AprilTag 는 여러 기준 마커들 중에서도 측위 성능이 좋을 뿐만 아니라 원거리에서도 검출 성능이 좋다고 알려져 있다. [2] AprilTag 포즈 오차 모델은 Logitech Brio Webcam 의 640 x 480 해상도를 기준으로 설계하였다. 사용한 UWB 는 Decawave 사의 TREK1000 모델이며 내장된

모델에 의하면 기준 마커의 측위 정확도는 거리와 각도에 의해서만 변하는 함수이므로 마커의 크기는 고려하지 않았다.

### III. 센서 배치 최적화와 측위 정확도 분석

#### 1. 유전 알고리즘

본 논문에서 사용된 유전 알고리즘은 유전자형이 0, 1, 2 로 표현된다. 총 123 개의 UWB 와 기준 마커 배치 후보 지점들 중에서 선택되지 않은 지점이 0, UWB 가 배치될 지점이 1, 마커가 배치될 지점이 2 가 되도록 하였다. 무작위의 유전자형을 갖는 초기 100 개체가 생성되고 선택, 교배, 돌연변이 과정을 거쳐 150 개의 모바일로봇 경로 지점들의 위치 정확도를 10cm 레벨로 유지시키는 네트워크 형태를 찾아내게 하였다. 네트워크는 알고리즘의 1000 번의 반복을 통해 산출되며, 같은 솔루션을 500 번 반복할 시에는 알고리즘을 중단하도록 하였다.

이러한 진화과정에서 우수한 해를 판단하는 과정은 적합도 함수에서 이루어진다.[3] 본 논문의 적합도 함수는 UWB 의 개수와 기준 마커의 개수, 모바일로봇 경로 지점들의 위치 정확도 평균값을 적합도로 한다. 이때, 그림 3 과 같이 경로 손실 값을 계산하여 수신 신호 세기를 구한 뒤 수신기의 민감도 보다 수신 신호 세기가 작아 신호가 받아지지 않는 UWB 센서는 위치오차 계산 시 배제되도록 하였다.

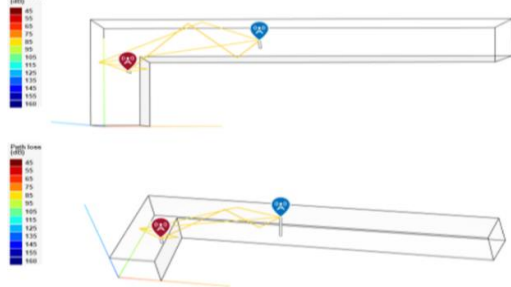


그림 3. 모바일 로봇과 UWB 사이 경로 손실 계산

위치오차의 표준편차가 위치 정확도로 사용되었으며, 이는 식 (1)과 같다.

$$\sigma_p = \sqrt{\text{trace}(H^T W H)^{-1}} \quad (1)$$

모바일 로봇의 경로지점을  $D_i$ 로, UWB 앵커 지점을  $U_i$ , 기준 마커 지점을  $M_i$ 라고 할 때, H 행렬은 식 (2)와 같다.

$$H = \begin{bmatrix} \frac{D_i - U_1}{\|D_i - U_1\|} \\ \frac{D_i - U_2}{\|D_i - U_2\|} \\ \vdots \\ \frac{D_i - M_1}{\|D_i - M_1\|} \\ \vdots \\ \frac{D_i - M_n}{\|D_i - M_n\|} \end{bmatrix} \quad (2)$$

가중치 행렬인 W 행렬에서 UWB의 거리측정 정확도  $\sigma_{uwb}$ 는 0.1로 고정하였으며, 카메라 Vision의 측위 정확도  $\sigma_{marker}$ 는 오차 모델을 통해 얻은 거리와 각도에 따른 함수에 대입하여 구하였다. 이는 식 (3)과 같다.

$$W = \begin{bmatrix} \sigma_{uwb}^2 & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \cdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & 0 & \sigma_{marker}^2 \end{bmatrix}^{-1} \quad (3)$$

다중 목적을 동시에 최적화하기 위하여 각 목적 앞에 0.04, 0.01, 5 의 가중치를 곱해주었다.

#### 2. 배치 결과와 정확도 분석

유전 알고리즘을 통해 나온 배치 결과는 그림 4 와 같다. 총 5 개의 UWB 센서와 8 개의 기준 마커가 산출되었다.

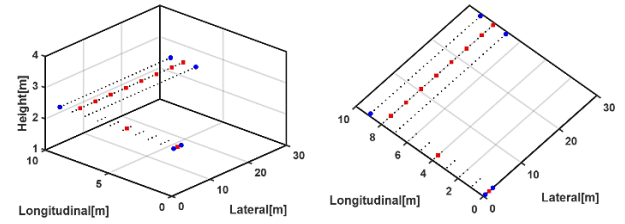


그림 4. 유전알고리즘으로 산출된 UWB/Vision 네트워크 (파란색이 UWB, 빨간색이 AprilTag)

산출된 최적배치에서 나온 모바일로봇의 주행경로의 위치 정확도는 그림 5 와 같다. 모든 구간에서 측위 오차가 10 cm 미만이며, 특히 UWB 를 모두 활용할 수 있는 코너 부분에서 위치 오차가 매우 작게 나타났다.

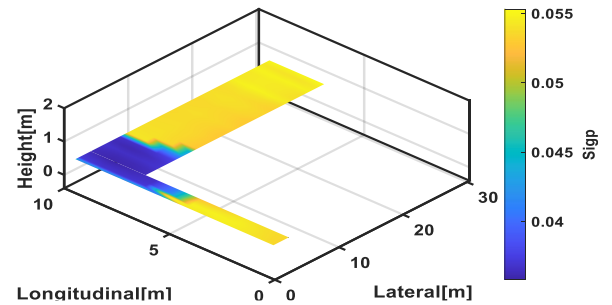


그림 5. 최적 UWB/Vision 네트워크에서 산출된 모바일로봇의 위치 정확도

### IV. 결론

본 논문에서는 UWB 센서와 기준 마커를 이용하여 측위하는 모바일 로봇의 실내 주행 환경을 구성하고, 측위 오차와 센서의 개수를 최소화하기 위해 유전 알고리즘을 사용하여 센서 네트워크를 최적화하였다. 그 결과 실내에서도 10 cm 이내의 오차를 가지는 센서 네트워크 배치를 산출하였다. 추후 더 다양한 환경에서 네트워크를 구성하고 실제 실험을 통해 검증할 계획이다.

### ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 정부 (과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NO. 2020R1A2C2006028).

### 참 고 문 헌

- [1] Yun, Z., Lim, S., and Iskander, M. F. (2008). An integrated method of ray tracing and genetic algorithm for optimizing coverage in indoor wireless networks. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 7:145-148.
- [2] Kalaitzakis, M., Cain, B., Carroll, S., Ambrosi, A., Whitehead, C., and Vitzilaios, N. (2021). "Fiducial Markers for Pose Estimation Overview, Applications and Experimental Comparison of the ARTag, AprilTag, ArUco and STag Markers," Journal of Intelligent & Robotics Systems, 101(71).
- [3] Mirjalili, S. (2019). Genetic algorithm. In Evolutionary algorithms and neural networks. Springer. 43-55.