

# Range-only SLAM 및 Particle Filter 를

## 이용한 실내 위치인식

이승목, 정종대, 전해민, 명현\*  
KAIST 건설및환경공학과

# Indoor Localization Using Range-only SLAM and Particle Filter

Seungmok Lee, Jong-Dae Jung, Haemin Jeon, Hyun Myung\*  
KAIST

\*Corresponding author e-mail: hmyung@kaist.ac.kr

### 요 약

본 논문에서는 다양한 실내 위치인식 방법 중에서도 강인한 방식인 비컨 기반 위치 인식의 정확도를 높이는 방법을 제안하고자 한다. 비컨 중에서도 로봇과 사람이 동시에 사용하기 쉬운 Radio Frequency(RF)를 이용한 위치인식 성능 개선에 대해 다루고자 한다. RF 방식은 Ultra Wide Band (UWB) 방식으로 상용화된 Chirped Spread Spectrum (CSS)를 이용한 레인지 센서를 이용하였다. 먼저 센서 특성 실험을 통해 레인지 센서의 특성상 일어나는 오차의 경향성을 조사하여, 비교적 일정하게 일어나는 오차를 보정하였다. 이 특성을 이용해 보정을 한 Particle Filter(PF)와 보정하지 않은 PF의 결과 데이터가 각각 어느 정도의 오차를 보이는지 비교하였다. 센서 특성을 고려해 보정을 한 PF를 이용해 비컨의 정확한 위치를 알 수 없는 상태로 위치 측정을 해 보고, Range-only SLAM 등을 통해 비컨의 정확한 위치를 아는 상태에서 PF를 이용한 위치 데이터와 비교해 비컨 위치 정확도의 효과가 어느 정도인지 알아본다. 실제 실험을 진행한 결과 센서 특성 실험에서는 센서 특성으로 인한 오차가 비교적 규칙적인 형태를 띠어 이 경향성을 토대로 위치 추적 오차를 개선시킬 수 있음을 알 수 있었다. 이를 통해 보정된 PF 알고리즘을 작성해 실험한 결과가 기존 PF를 사용한 위치 추적보다 훨씬 적은 오차가 발생함을 실험을 통해 알 수 있었다. 그리고 비컨 위치가 부정확한 상태로 PF를 이용했을 때의 위치 추적 값보다 Range-only SLAM 등을 이용해 비컨 위치를 정확히 알아낸 후 PF를 이용했을 때의 위치 추적 값이 더 정확함을 t-Test를 통해 확인할 수 있었다.

### 1. 서론

위치 인식 기술은 크게 실내 위치인식기술과 실외 위치인식 기술로 나누어 볼 수 있으며, GPS 신호를 사용할 수 없는 실내 위치인식 기술이 상대적으로 구현하기 어려운 기술이라 볼 수 있다. 실내 위치인식을 위한 기술로는 초음파, Infra Red (IR), Radio Frequency (RF), Ultra Wide Band (UWB)가 있으며

각각의 장단점을 비교해보면 다음과 같다. 초음파는 음파이기 때문에 사람의 의복이나 실내 장애물들에 흡수되기 쉬워 센서의 신호가 수신부까지 원활히 전달되기 힘들다. IR 센서의 경우 신호가 수신부의 가시영역 안에 들어가야만 신호가 전달될 수 있기 때문에 역시 원활한 신호 전달이 어렵다. RF 기반 방식으로는 Zigbee, UWB 등이 있으며 신호 전송 속도가

매우 빠르고 방해물이나 신호 전달 방향에 의한 제한이 적다[1]. 하지만 Line of Sight (LOS) 가 확보되지 않을 경우, 장애물에 의한 간섭 등의 영향으로 정확도가 떨어진다.

본 연구에서는 RF 비컨 기반 시스템에서 Particle Filter (PF)를 사용하여 실내위치인식 성능 개선의 방법을 제안한다. RF 방식은 UWB 방식으로 상용화된 Chirped Spread Spectrum (CSS)을 이용한 레인지 센서를 이용하였다. CSS는 광대역 선형 주파수 변조 chirp 파동을 이용해 정보를 암호화 한 Spread spectrum 기술로써 기존의 Spread spectrum 과 달리 chirp pulse의 선형적인 특성을 이용한다. CSS는 채널 노이즈에 강하여 신호 송신을 위해 배분된 전대역을 사용하고 광대역 스펙트럼의 사용으로 저전력 작동시에도 다중 페이딩에 강인하며, 도플러 효과에도 강인한 특성을 가지고 있다[2].

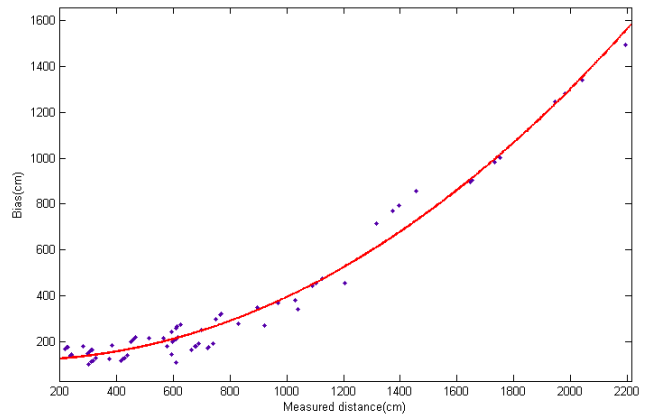
실험에서는 먼저, 센서 특성 실험을 통해 RF 레인지 센서 특성상 발생하는 오차의 경향성을 조사하여 비교적 일정하게 일어나는 오차를 보정하였다. 이 특성을 이용해 보정을 한 PF와 보정하지 않은 PF의 결과 데이터가 각각 어느 정도의 오차를 보이는지 비교하였다. 그리고 비컨 위치가 부정확한 상태로 PF를 이용했을 때의 위치 추적 값보다 Range-only SLAM 등을 이용해 비컨 위치를 정확히 알아낸 후 PF를 이용했을 때의 위치 추적 값이 더 정확함을 t-Test를 통해 확인하였다.

## 2. 비컨 기반 실내 위치인식 시스템

### 2.1 센서 특성 시험

본 실험에서는 초음파 센서와 CSS 방식의 RF를 사용하여 필요한 거리정보를 획득하였다. 실험에 사용된 나인티시스템사의 초음파 센서 iGS-U는 발신부인 태그와 수신부인 비컨으로 구성되어 있으며, 태그와 각 비컨 사이의 거리를 측정한다. 실내 위치인식 범위는 5~6m로 위치 검출 영역은 RF 센서에 비하여 좁지만 위치 정확도가 높다.

RF 방식의 거리센서는 동일한 회사의 iGS-R 제품을 사용하였다. iGS-R은 RF와 CSS 기술을 사용한 센서로, 사용자가 소지하고 다니는 태그와 태그로



[그림 1] 센서 특성 실험 결과

부터 신호를 받아 중계기로 정보를 넘겨주는 비컨, 그리고 각 비컨에서 얻은 정보를 통합하는 중계기로 구성되어 있다. 비컨과 태그 사이의 거리계산은 TDoA (Time Difference of Arrival) 방식을 사용하였다. 실내 위치 인식 범위는 30~50m로 IR 센서 혹은 초음파 센서에 비하여 위치 검출 영역은 넓지만 위치 오차가 10~30cm에 이른다. 또한, RF의 특성상 사람, 가구 등 장애물에 의한 간섭이 심하며 안테나의 높이, 각도에 따라 위치 오차의 변동이 심하다.

따라서 본 연구에서는 실험 단계 이전에 거리에 따른 센서의 특성을 파악하여 보정된 거리 센서를 실험에 사용하였다. 총 12개의 비컨과 3개의 태그, 그리고 2개의 중계기를 사용하였으며 태그의 특성은 크게 다르지 않다고 가정하고 각각 임의로 고른 장치를 바탕으로 각 비컨과의 거리를 측정하였다. 0.5m에서 7.0m까지 0.5m 간격으로 측정하였으며, 각 거리에서 1000개의 거리 데이터를 얻어 분석하였다. 실험 조건을 최적화 하기 위하여 태그의 높이와 비컨의 높이를 동일하게 하고, 태그와 비컨의 안테나가 직선상에서 마주보도록 설치했다. 또한 실험 도중 센서와 비컨 사이의 출입을 통제하여 장애물의 영향이 없도록 하였다.

센서 특성 실험 결과는 그림 1과 같다.  $x$ 축이 센서의 관측 거리이고  $y$ 축은 관측값과 실제 거리 값과의 차이이다.  $x$ 와  $y$ 의 관계는 식 (3)과 같이 표현될 수 있다.

$$f(x) = 0.0001527 \times x^{2.087} + 114.8 \quad (1)$$

### 2.2 로봇 위치 인식 알고리즘

본 실험에서는 로봇 위치인식 알고리즘으로써 Extended Kalman Filter (EKF)를 이용한 Range-only SLAM 을 이용하였다[3]. 로봇 시스템의 움직임 모델링은 아래와 같다.

$$q(k+1) = \begin{bmatrix} x_k + \Delta D_k \cos(\theta_k) \\ y_k + \Delta D_k \sin(\theta_k) \\ \theta_k + \Delta \theta_k \end{bmatrix} + v(k) = f(q) + v(k) \quad (2)$$

측정값에 대한 모델은 다음과 같다.

$$y(k) = \begin{bmatrix} \sqrt{(x_b - x_k)^2 + (y_b - y_k)^2} \\ \sqrt{(x_k - x_{k-1})^2 + (y_k - y_{k-1})^2} \\ \theta_k - \theta_{k-1} \end{bmatrix} + \omega(k) = \begin{bmatrix} T_k \\ \Delta D_k \\ \Delta \theta_k \end{bmatrix} \square h(q_{k+1}) + \omega(k) \quad (3)$$

이때,  $q(k)$  는  $k$  시간에서의 로봇의 위치와 방향  $[x_k, y_k, \theta_k]^T$ ,  $\Delta D_k$  는 바퀴회전수로 측정된 로봇의 이동거리,  $\Delta \theta_k$  는 로봇의 회전각,  $T_k$  는  $k$  시간에서의 비컨과 로봇 사이의 거리 측정값이다.

EKF 알고리즘을 적용하기 위하여, 현재 상태에 대한 이산 시간 시스템으로 표현하면 아래와 같다.

$$q(k+1) = A(k)q(k) + v(k) \quad (4)$$

$$y(k) = H(k)q(k) + \omega(k) \quad (5)$$

이때,  $A(k)$  와  $H(k)$  는 아래와 같다.

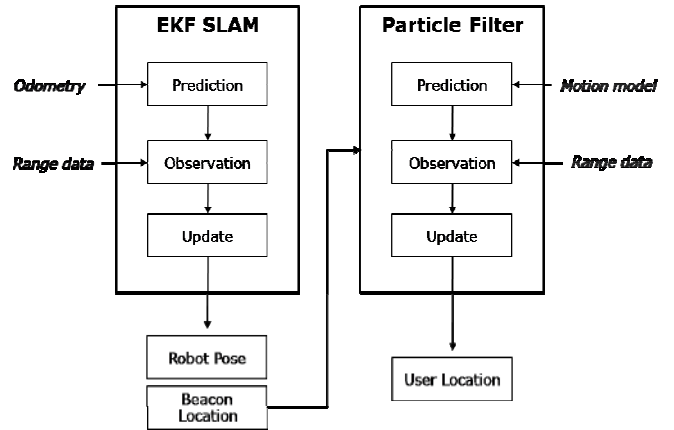
$$A(k) = \frac{\partial f}{\partial x} \Big|_{q=q}, \quad H(k) = \frac{\partial h}{\partial x} \Big|_{q=q} \quad (6)$$

본 실험에서는 EKF 알고리즘을 사용하여 로봇 및 비컨의 위치를 각 시간마다 추정하였으며, 로봇과 비컨의 초기위치는 오차를 넣어 설정하였다.

### 2.3 사용자 위치 인식 알고리즘

사용자 위치인식을 위하여 사용된 알고리즘의 구조는 그림 2 와 같다. 로봇 위치인식 알고리즘을 통해서 비컨의 위치를 정확히 추정한 후, PF 알고리즘을 적용시켰다. 이때 사용된 PF 는 기존의 PF 알고리즘을 센서 특성에 맞게 수정 및 보완함으로 위치 추정 성능을 향상시켰다.

일반적인 PF 알고리즘은 파티클의 초기화, 동적



[그림 2] 실내위치인식 알고리즘 구조도

모델에 의한 예측, 관측에 의한 업데이트, 그리고 필요시 리샘플링의 네 단계로 이루어진다. 본 연구에서는 사람의 동적 모델로 Brownian motion 모델을 사용하였으며 리샘플링에는 Linear time resampling 알고리즘을 사용하였다[4]. 또한 관측에 의한 업데이트 단계에서는 센서의 특성을 고려하여 다음과 같이 측정값을 보정해 주었다.

$$r = m - bias(m) \quad (7)$$

여기서  $m$  은 센서에 의해 실제 측정된 거리 값이며  $bias$  는  $m$  에 대한 함수로 각 측정값에 해당하는 오차이다.  $r$  은 보정된 측정값으로 이 값이 업데이트에 사용된다. 업데이트 단계에서 센서 데이터의 오차 모델은 가우시안 모델을 사용하였으며 여기에는 센서 특성 실험 결과로 얻은 관측오차의 표준편차를 사용하였다. 관측에 의한 업데이트가 끝나면 가중치가 가장 높은 파티클을 사용하여 사용자의 위치를 추정하였다. 이때 추정된 위치 값은 센서데이터와 비교하여 확인과정을 거치는데 추정된 사용자의 위치가 관측된 비컨 중 신뢰도가 가장 높은 비컨의 범위 내에 있다면 PF 는 다시 예측 단계로 돌아가고 그렇지 않으면 그 비컨을 기준으로 일정 범위 내에 파티클을 다시 초기화 한 다음 예측 단계로 돌아간다. 관측 신뢰도가 가장 높은 비컨은 LOS 를 통해 관측된 값이므로 거리 값이 가장 작은 비컨으로 하였다.

### 3. 실험 결과

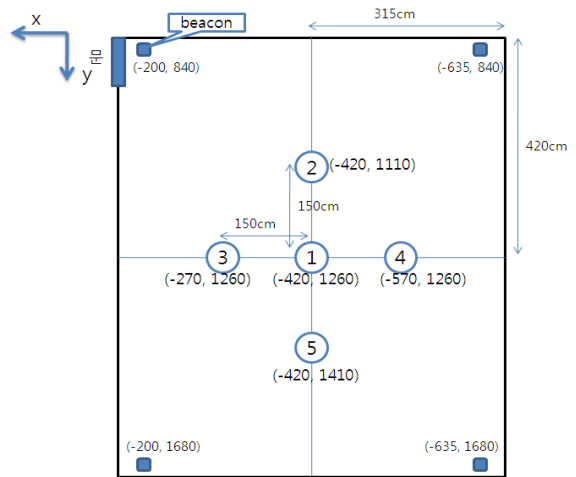
본 연구에서는 Range-only SLAM 을 이용하여 비컨의 위치를 추정한 후 보정된 거리 정보를 바탕으로 태그의 위치를 추정하는 경우와, 비컨의 위치 추정 후 거리 정보를 보정하지 않은 경우, Range-only SLAM 을 사용하지 않고 거리 값만 보정한 후 위치를 추정하는 경우 총 3 가지의 경우로 나누어 실험하였다. 그림 3 에서 볼 수 있듯이 태그를 각기 다른 4 곳에 놓고 실험을 하였다. 실험 결과 비컨의 위치가 정확하고 센서의 거리정보가 보정이 이루어 졌을 때에 비해 두 조건 중 하나라도 부족했을 경우, 거리 오차가 급격하게 커지는 것을 알 수 있다. 특히 센서 특성에 따른 거리 오차를 보정하지 않은 경우 거리 오차가 상당히 커졌다. 센서 보정을 한 경우와 그렇지 않은 경우를 바탕으로 paired sample t-test 를 수행하였으며, p-value 가 0.03 으로 센서 보정을 한 경우가 더 정확한 것을 확인 할 수 있다. Range-only SLAM 을 이용하여 비컨의 위치를 추정하고 위치를 추정하였을 경우와, 그렇지 않을 경우의 p-value 는 0.04 로 비컨 위치가 정확한 경우에 위치 추정이 더 정확하게 되는 것을 확인할 수 있다.

### 4. 결론

센서의 특성을 실험한 결과 오차가 비교적 규칙적이므로 위치 정보를 보정했을 때 정확도가 개선됨을 알 수 있었다. 또한 비컨의 위치를 Range-only SLAM 을 이용하여 선 추정 후 PF 를 사용해 위치를 추정하는 경우가 부정확한 비컨의 위치를 토대로 위치 추정한 것보다 좋은 성능을 보였다.

[표 1] 거리오차 비교

비컨	정확한 비컨위치	정확한 비컨위치	부정확한 비컨위치
	+ 센서보정	(센서보정 없음)	+ 센서보정
위치 1	17.171	501.768	400.845
위치 2	266.229	280.284	168.520
위치 3	289.395	378.958	383.756
위치 4	53.865	925.005	350.783
위치 5	355.603	967.927	650.804



[그림 3] 태그 위치

### 참고문헌

- [1] 김학용, 김성덕, 서동길, 지정강, 장형대, “근거리 위치추적 기술 동향”, 주간기술동향 동권 1332 호, pp.1-12, 11, 2007.
- [2] 권대길, 조진용, 임승욱, 이장연, 이현석, 원윤재, “개인 무선네트워크에서 CSS 방식과 RSSI 를 이용한 거리측정에 관한 연구”, 대한 전자공학회 학술대회 제 31 권 제 1 호, pp.321-322, 06, 2008.
- [3] J. Djughash, S. Singh, G. Kantor, and W. Zhang, “Range-only SLAM for robots operating cooperatively with sensor networks,” *Robotics and Automation, ICRA 2006. Proceedings 2006 IEEE International Conference*, 2078-2084, 15-19, 2006.
- [4] J. Carpenter, P. Clifford, and P. Fearnhead, “An improved particle filter for non-linear problems,” *IEE proceedings - Radar, Sonar and Navigation*, 146:2-7, 1999.