

# 실내 이동 객체의 위치 정확도 개선을 위한 알고리즘<sup>☆</sup>

## An Improvement for Location Accuracy Algorithm of Moving Indoor Objects

김 미 경\*      전 현 식\*\*      염 진 영\*\*\*      박 현 주\*\*\*\*  
Mikyeong Kim      Hyeonsig Jeon      Jin-Young Yeom      Hyun-Ju Park

### 요 약

본 논문에서는 Ultra-Wide-Band(UWB) 영역 측정을 활용한 이동객체 위치추정과 이동객체 위치정확도를 개선하기 위한 방법을 논한다. 실외환경과는 달리 실내에서는 여러 가지 노이즈로 인해 이동객체의 위치추적이 어렵다. UWB는 최근 위치추적 응용에서 주목을 받고 있는 라디오 기술이다. UWB의 영역측정 기술은 cm 수준의 정확도를 제공한다. UWB의 데이터 전송과 정밀한 영역측정, 물질관통의 특성은 실내위치추적 응용에 적합하다. 본 논문은 UWB 영역 기술과 파티클 필터를 이용한 이동객체의 위치추정 알고리즘을 제안한다. 기존 위치추정 알고리즘들은 이동객체의 위치추정을 한 후에 예상되는 오차와 bias 값을 제거하였다. 그러나 이 논문에서 제안한 알고리즘은 먼저 예상되는 UWB 영역 거리 오차를 제거하고 난 후에 이동객체의 위치를 추정한다. 본 논문에서는 제안 알고리즘이 기존 이동객체의 위치 추정 후 오차를 제거하는 방식보다 위치정밀도가 좋아졌음을 실험을 통하여 보였다. 본 연구에서는 UWB를 이용하여 고정되어 있고 위치를 알고 있는 세 앵커들과 이동객체 간의 추정 거리로부터 bias값과 반복 영역 오차 값을 제거한 후 삼각측량을 하여 이동객체의 위치를 추정하였다. 마지막으로 파티클 필터를 사용하여 이동객체의 위치 정밀도 개선을 한다. 실험 결과는 제안 위치추정 방식이 실내 환경에서 더 정밀함을 보인다.

### ABSTRACT

This paper addresses the problem of moving object localization using Ultra-Wide-Band(UWB) range measurement and the method of location accuracy improvement of the indoor moving object. Unlike outdoor environment, it is difficult to track moving object position due to various noises in indoor. UWB is a radio technology that has attention for localization applications recently. UWB's ranging technique offer the cm accuracy. Its capabilities for data transmission, range accurate estimation and material penetration are suitable technology for indoor positioning application. This paper propose a positioning algorithm of an moving object using UWB ranging technique and particle filter. Existing positioning algorithms eliminate estimation errors and bias after location estimation of mobile object. But in this paper, the proposed algorithm is that eliminate predictable UWB range distance error first and then estimate the moving object's position. This paper shows that the proposed positioning algorithm is more accurate than existing location algorithms through experiments. In this study, the position of moving object is estimated after the triangulation and eliminating the bias and the ranging error from estimation range between three fixed known anchors and a mobile object using UWB. Finally, a particle filter is used to improve on accuracy of mobile object positioning. The results of experiment show that the proposed localization scheme is more precise under the indoor.

☞ KeyWords : 초광대역 무선, 파티클 필터, 실내 위치추적, 도래 시간, 삼각측량, 준 가시선  
UWB, Particle Filter, Indoor Location Tracking, TOA, Triangulation, NLOS

## 1. 서 론

- \* 준 회 원 : 한밭대학교 정보통신대학원 정보통신공학과  
박사수료 mkkim922@dreamwiz.com
- \*\* 준 회 원 : 한밭대학교 정보통신전문대학원 전자공학과  
박사수료 hsjeon@hanbat.ac.kr
- \*\*\* 준 회 원 : 한밭대학교 정보통신전문대학원 전자공학과  
재학(석사) jyiny0125@nate.com
- \*\*\*\* 정 회 원 : 한밭대학교 정보통신컴퓨터공학부 교수

최근 Ultra-Wideband(UWB) Time-of-Arrival(TOA)  
기반 위치추적이 UWB의 넓은 대역폭과 높은 시

phj@hanbat.ac.kr(교신저자)

[2009/10/09 투고 - 2009/10/20 심사

(2009/12/08 2차- 2010/02/10 3차) - 2010/03/04 심사완료]

☆ 본 논문은 2단계 BK21 사업의 지원을 받아 수행된 연구임.

간 전송률로 인해 각광을 받고 있다[1]. UWB는 데이터 전송률이 높고, 정밀한 영역 추정과 물질을 관통하는 성질이 있어서 이론적으로는 다중경로 문제에 영향을 받지 않는다[2]. 기존의 대표적인 위치추적 시스템에 사용되는 기술들은 NLOS(Non Line Of Sight) 환경의 특성을 많이 포함하고 있는 실내 환경에는 적합하지 않다. GPS(Global Positioning System)는 수 m 오차 범위의 위치추정을 할 수 있다. 그러나 법적인 문제와 대부분의 물질을 통과할 만큼 충분히 강하지 않고 한 객체가 GPS를 가리자마자 신호가 약해지는 기술적인 특성상 적합하지 못하다[3]. 초음파와 RF의 조합은 잡음과 노이즈에 약한 특성을 보인다. 반면에 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[4]. 이러한 특성 때문에 UWB는 실내 이동객체의 실시간 위치추적 응용에 적합하다.

본 논문에서는 UWB 기술을 이용하여 위치를 알고 있는 고정된 세 앵커들로부터 이동객체 간의 영역을 측정하고, 측정된 값에서 먼저 bias 값과 측정 영역 오차를 제거한 후에 삼각 측량하여 이동객체의 위치를 추정하였다. 영역 측정을 위한 UWB는 무선통신 시스템에 간섭을 주지 않고, 센티미터 단위의 정확한 영역을 추정할 수 있다. 하지만 이론과 달리 실제 실내 환경에서는 물질을 관통하면서 신호가 약해질 수 있으며, 여러 장애물들로 인한 다중경로(multipath)에 의해 거리 오차 값들을 포함하게 된다. 그러므로 이동객체의 위치추적 정밀도를 높이기 위한 기법이 필요하다.

기존 연구들에서는 위치보정을 위한 기법으로 칼만 필터(Kalman Filter: KF)[5]를 많이 사용하고 있으나 KF는 관찰 모델과 시스템 동력이 Gaussian 노이즈인 상태가 선형인 경우일 때 최적이므로, 비선형 시스템에서는 적절하지 못하다. 비선형 상

태를 처리 할 수 있도록 확장 칼만 필터(Extended EKF)[6,7]와 언센티드 칼만 필터(Unscented KF)[8-10] 기법을 활용하고 있지만 둘 다 비선형 상태를 선형으로 근사 시켜서 비선형 시스템을 처리하므로 최선이 될 수 없다. 그러므로 본 논문에서는 이동객체의 추정 위치 정밀도를 높이기 위해 파티클 필터[11-16] 기법을 사용한다.

확장 칼만 필터와 언센티드 칼만 필터는 이동객체의 이동과 관찰 모델을 선형이라 가정하고, 그들의 오차와 초기 추정 확률분포를 실제와는 다른 Gaussian이라고 가정하고 있다. 하지만 파티클 필터는 샘플들의 집합으로 이동객체의 위치 추정을 하고 있으므로 이동 모델을 실제와는 다른 Gaussian으로 가정할 필요가 없고, 선형화 과정이 필요가 없다. 파티클 필터는 non-Gaussian이면서 시간에 따라 전개되는 이동 객체에 대한 연속적으로 들어오는 오차가 존재하는 관측 값만을 가지고 시스템에 적절하게 제안된 확률분포를 생성한다. 그러므로 UWB 영역 데이터와 주행기록, 주행 방향을 이용하여 파티클들을 구성하는 샘플 데이터의 분포를 통해서 이동객체의 위치를 정확하게 추정할 수 있다. 또한 어떤 형태의 확률 분포도 표현할 수 있기 때문에 위치 추적 과정에서 오차가 누적되지 않는다는 장점을 갖는다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 UWB의 기술적 특성을 요약하고, 위치 정밀도 개선을 위해 사용하는 필터 기법들에 대해 기술한다. 3장에서는 본 연구에서 제안하는 알고리즘을 설명한다. 4장에서는 본 논문에서 제안한 알고리즘의 성능 검증을 위한 다양한 실험과 실험 결과를 요약하도록 한다. 마지막으로 5장에서는 본 논문에 대한 결론과 향후 연구 과제에 대해 기술한다.

## 2. 관련 연구

본 장에서는 영역추정을 위해 사용하는 UWB 기술의 특성과 위치정밀도를 개선하기 위해 사용하는 필터들에 대해서 기술한다.

## 2.1 UWB 영역 측정의 특성

UWB는 최근 10년 동안 군사목적 및 민간 통신에서 사용하는 전통적인 라디오 기법이다. 라디오 신호를 짧은 펄스의 광폭 주파수(지역에 따라 3.1GHz ~ 10.6GHz 대역을 사용한다.)에 실어 전송을 한다. 펄스 주기는 대략 수 나노초들이고 보통 넓은 범위 위에 뿌려지므로 각각의 전송된 펄스들의 에너지는 매우 낮다(전력 스펙트럼 밀도 41.5 dBm/MHz). 그러므로 무선 전송에 안전한 시스템이며, 타 무선통신에 비해 간섭에 강하여 다른 라디오 통신 기술과 공존할 수 있다. UWB의 짧은 전송 펄스의 주기는 저렴하고 센티미터 정도의 정확한 위치추적이 가능하게 한다. 물질을 관통하는 신호전송 특성은 실제로는 완전하지 않지만 이론적으로 다중경로 문제에 영향을 받지 않는다. 이러한 장점들 때문에 UWB는 실시간 실내 위치 추적 응용에 적합한 기술이다. 하지만 UWB가 실제 실내 클러스터드 환경에서 이동 객체를 추적 할 때 여러 물질들을 통과하면서 전송 신호의 움직임 예측할 수 없고, 장애물을 통과하면서 신호가 약해지는 문제점이 있다. 이러한 문제점들은 NLOS 신호를 발생하게 하여, 최종적으로 영역 추정 문제를 복잡하고 부정확하게 하는 다중 경로의 영향을 받게 한다[1-4].

## 2.2 위치추적을 위한 필터

본 절에서는 이동객체의 위치 정밀도를 향상시키기 위한 연구된 필터 방식들에 대해 설명한다. 먼저 필터의 기본이 되는 베이지 필터와 베이지 필터의 변형인 칼만 필터, 샘플을 기반으로 구현한 파티클 필터를 설명한다.

### 2.1.1 베이지 필터(Bayes Filter)

베이지 필터는 센서 측정치로부터 동적인 시스템의 상태  $x$ 를 추정하기 위해 사용되는 방법으로 수집된 데이터에 의해 상태공간에 대한 posterior 확률밀도를 순환적으로 추정한다[17].

이동객체의 위치를 예측하는 posterior를 belief  $Bel(x_t)$ 라고 하면, 시간  $t$ 일 때 이동객체의 상태를  $x_t$ , 제어 입력(control input)을  $u_t$ , 관측치를  $z_t$ 라고 할 때, 식 (1)과 같이 정의된다.

$$Bel(x_t) = p(x_t|z_t, u_t, z_{t-1}, u_{t-1}, \dots, z_0, u_0) \quad (1)$$

베이지 필터는 이동객체가 관찰값  $z_t$ 와 제어 입력  $u_t$ 가 이전 관측치와 제어 입력에 무관하고 오직 현재의 입력 값에만 의존하는 마코프라고 하면, posterior는 다음 두 과정을 이용하여 효율적으로 결정될 수 있다. 먼저 새로운 제어 입력  $u_t$ 가 수신되면 식(2)를 통해 이동객체의 이동 위치를 예측할 수 있다.

$$Bel^-(x_t) \leftarrow \int p(x_t|x_{t-1}, u_t) Bel(x_{t-1}) dx_{t-1} \quad (2)$$

그리고 관찰 값  $z_t$ 가 들어오면 이동객체의 위치를 식 (3)에 의해 보정을 한다.

$$Bel(x_t) \leftarrow \alpha p(z_t|x_t) Bel^-(x_t) \quad (3)$$

식 (2)에서  $p(x_t|x_{t-1}, u_t)$ 는 이동객체의 이동 위치를 나타낸다.

식 (3)에서  $\alpha$ 는 정규화 상수이고,  $p(z_t|x_t)$ 는 현재 위치가  $x_t$ 일 때 주어진 관찰 값의 가능도를 나타낸다.  $Bel^-(x_t)$ 를 예측 belief라고 하며, 관찰 값이 입력되기 전의 예측 belief를 나타낸다.

베이지 필터는 이동객체 이동 위치를 순환 추정하기 위한 확률적인 구조를 제공한다. 그러므로 베이지 필터 구현을 위해서는  $p(x_t|x_{t-1}, u_t)$ 와  $p(z_t|x_t)$ , belief  $Bel(x_t)$ 을 기술해야 한다.

### 2.1.2 칼만 필터(Kalman Filter)

베이지 필터의 변형으로 가장 많이 사용하는 칼만 필터는 가중치 개념을 사용하고 반복적인

연산을 통해 평균과 공분산 값으로 belief 근사치를 구한다. 칼만 필터에 사용되는 방정식은 예측을 위한 시간 갱신 방정식(Time Update Equations)과 개선된 위치 추정 값을 얻기 위한 피드백을 책임지는 측정 갱신 방정식(Measurement Update Equations)으로 구성된다[5].

칼만 필터는 초기 불안정 상태가 unimodal Gaussian이고 관찰 모델과 시스템 동력이 Gaussian 노이즈인 상태가 선형인 경우일 때 최적이다. 하지만 비선형 시스템에서는 적절하지 못하므로 EKF가 비선형 상태를 선형으로 근사 시켜서 비선형 시스템을 처리할 수 있도록 한다[6, 7]. 최근에는 비선형 시스템을 처리하기 위한 언센티드 칼만 필터[8-10]가 소개 되었다. 언센티드 칼만 필터는 Gaussian 상태에서부터 시그마 포인트라고 하는 샘플들을 생성하고 예측 샘플들을 Gaussian으로 근사하는 비선형 동력들을 통하여 샘플들을 넘겨준다. UKF는 이론적으로나 실제적으로 더 나은 근사를 보여주지만 비선형 시스템의 경우 비선형 상태를 선형으로 근사하므로 EKF와 UKF 둘 다 최선이 될 수 없다.

### 2.1.3 파티클 필터(Particle Filter)

파티클 필터의 주목표는 non-Gaussian이면서 시간에 따라 전개되는 이동 객체에 대한 연속적으로 들어오는 오차가 존재하는 관측 값만을 가지고 시스템에 적절하게 제안된 확률분포를 이용하여 위치를 추적하는 것이다. 파티클 필터는 non-Gaussian 이고, 비선형인 동력 시스템에서 더 실제 posterior에 수렴한다[17-21].

파티클 필터는 이동객체의 추정 위치를 하나의 파티클이 되도록 하는 확률분포를 생성한다[17-21]. 또한 베이지 필터의 posterior  $Bel(x_t)$ 를 가중치  $w_t$ 를 갖는 n개의 샘플의 집합  $S_t$ 로 나타낸다.

$$S_t = \{ \langle x_t^{(i)}, w_t^{(i)} \rangle \mid i=1, \dots, n \} \quad (4)$$

여기서  $x_t^{(i)}$ 는 시간 t일 때 이동객체의 이동 위치를 나타내고,  $w_t^{(i)}$ 는  $x_t^{(i)}$ 에 대한 가중치(Importance Weights)로서 음이 아닌 수이며, 총합이 1이 되어야 한다. 파티클 필터의 기본 형식은 샘플 추출을 하고 SISR(Sequential Importance Sampling with Resampling)을 참조하는 순환 베이지 필터이다[16, 17].

파티클 필터 알고리즘은 세 단계로 이루어진다. 첫 번째 단계는 샘플 추출 단계로 이동객체의 이전 belief를 나타내는 샘플 집합  $S_{t-1}$ 과, 제어입력  $u_t$ , 관찰값  $z_t$ 를 이용하여 posterior belief를 나타내는 n개의 샘플들을 추출한다. 두 번째 단계는 가중치 계산 단계이다. 센서로부터 수신된 관찰값과 첫 번째 단계에서 예측한 값을 비교하여 각 샘플의 가중치를 계산한다. 마지막 단계에서는 새로이 계산된 가중치를 고려하여 새로운 샘플을 추출한다. 파티클 필터는 순환적인 방법으로 이러한 샘플들을 추출하여 위치 보정을 하는 베이지 필터이다.

## 3. 파티클 필터를 이용한 추정 위치 정밀도 개선 알고리즘

본 장에서는 파티클 필터를 활용한 실내 이동 객체의 추정 위치를 개선하기 위한 알고리즘을 제안한다. 본 장의 구성은 기존 앵커와 이동객체 사이의 데이터 취득 방법과 기본적인 이동객체의 위치추정을 위한 샘플 추출 방법에 대해 설명하고, 제안 방법을 알고리즘으로 기술하였다.

### 3.1 개요

본 연구에서 활용하는 기본적인 측위 방법은 삼각측량에 의한 방법이다. 위치를 알고있는 고정된 세 개 이상의 앵커로부터 이동객체 간의 UWB 신호를 각각 입력 받는다. 수신된 UWB 신호는 거리로 환산한 후 삼각측량을 통해 이동객체의 위치를 추정한다. 이 때 추정된 이동객체의 위치

는 실내 환경의 특성과 UWB의 장애물에 따른 반사파, 회절파, 산란파 등에 의해 발생하는 NLOS로 인하여 경로 손실 특성과 페이딩 특성으로 인해 정확하지가 않다. 본 연구에서는 이런 추정된 위치의 정확도 문제를 해결하기 위해 기존의 연구에서 제안한 방식과 다른 새로운 방식을 제안하고 필터링 기법으로 파티클 필터를 활용한다 [17-21].

### 3.2 제안 방식

기존의 이동객체의 위치 추정 방법은 입력된 신호로부터 이동객체의 위치를 추정 한 후에 추정된 위치 값에서 bias 값과 추정 위치 값에 포함되어 있다고 예상되는 영역 오차 값을 제거하고, 필터링을 한다. 하지만 본 논문에서 제안하는 기법은 이동객체의 위치 추정을 하기 전에 수신된 UWB 신호에 포함되어 있는 영역 오차를 먼저 제거한 후에 삼각측량을 하고, 필터 기법을 이용하여 위치 보정을 하는 것이다.

제안 기법은 세 단계로 나눌 수 있다. 첫 번째 단계에서는 UWB 신호를 사용하여 앵커와 이동객체 간의 거리 값을 구한다. 두 번째 단계에서는 UWB 신호를 이용하여 구한 거리 값에서 예측되는 오차와 bias 값을 제거하고, 삼각 측량을 통하여 이동객체의 위치 추정을 한다. 세 번째 단계에서는 파티클 필터 기법을 이용하여 이동객체의 위치를 보정한다.

UWB 신호를 이용한 거리 측정을 할 때 UWB 영역 모델은 다음과 같다.

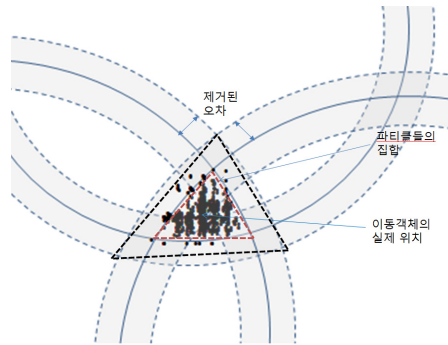
$$d_{uwb} = d_{true} + f(d) + n, \quad n \sim \mathcal{N}(0, \sigma^2) \quad (5)$$

여기서  $d_{uwb}$ 는 UWB 기기에 의해 주어진 값이고  $f(d)$ 는 거리-변수 계통 오차(bias),  $n$ 은 분산이  $\sigma^2$ 인 0-평균 Gaussian으로 측정에 따른 임의의 노이즈이다.

[2]에서 bias는  $f(d) = 0.1(1.01 - e^{-0.17d})$  이고, NLOS 환경에서 0.15m~0.45m 정도의 거리 오차가

포함 된다는 실험 결과가 있다. 제안 알고리즘의 두 번째 단계에서는 이 값들을 이용하여 추정된 UWB 신호로부터 얻은 영역 값에서 이 오차 값들을 제거하고 삼각측량을 하여 이동객체의 위치 추정을 한다. 마지막으로 두 번째 단계에서 추정된 값들로 파티클들의 확률분포를 생성하고 각 파티클들에 가중치를 적용하여 추정된 이동객체의 위치를 보정 한다.

(그림 1)은 본 논문에서 제안한 오차를 미리 제거하고, 위치추정을 한 것을 파티클들로 하는 확률분포를 생성한 후 파티클 필터를 이용하여 위치 보정 하는 방법을 표현한 것이다. (그림 1)에서 큰 삼각형은 오차를 제거하지 않고 위치측량을 했을 때의 추정 위치의 범위를 나타내고, 작은 삼각형은 예측 오차를 제거한 후 위치추정을 한 것이다.



(그림 1) UWB 거리신호의 오차를 제거한 후 위치추정

### 3.3 제안 알고리즘

위치추정 알고리즘은 네 단계로 구성 된다. 첫 번째, 제어 입력 값에 따라 추정 이동객체의 위치를 예측하는 단계와 두 번째, 위치 관찰 값에서 bias 값과 예측 영역오차 값을 제거하고, 위치를 추정하는 이동객체의 위치 샘플 단계, 세 번째 앞의 두 단계에서 생성한 샘플들을 통합한 후 가중치에 의해 새로운 샘플을 추출하는 재추출 단계, 마지막으로 새로운 샘플에 가중치와 가능도를 적용하여 위치를 보정하는 4단계로 구분할 수 있다.

이동객체의 위치추정을 위한 제안 알고리즘에 서 이전 시간 단계의 belief  $Bel(x_{t-1})$ 를 나타내는 샘플들의 집합과 제어 입력값  $u_{t-1}$ , 관찰 값  $z_t$ 가 입력되면, 첫 번째 단계에서는 제어 입력 값에 따른 예측분포 belief  $Bel^-(x_t)$ 을 유도한다. 이 분포는  $p(x_t|x_{t-1}, u_{t-1})$ 와 이전 시간의 belief  $Bel(x_{t-1})$ 로부터  $x_t^{(i)}$ 를 추출하여 구할 수 있다. 두 번째 관찰 값에 의한 이동객체의 위치 샘플 단계에서는 수신된 UWB 신호를 거리 값으로 변환한 관찰값을 기반으로 샘플들을 생성한다. 샘플들은 NLOS로 인해 UWB신호에 포함되어 있을 영역오차 값과 bias 값을 거리 값에서 먼저 제거를 한 후에 삼각측량을 하여 위치추정을 한다. 관찰 값에 의해 샘플을 추출할 때 각 샘플들에 대한 가중치를 함께 구한다. 세 번째 단계는 앞의 두 단계에서 생성된 샘플들의 집합을 통합하고 각 샘플들의 가중치에 의해 새로운 샘플들을 재추출하여 새로운 샘플들의 집합을 생성한다. 이 때, 추출되는 샘플들의 수는 고정된 수로 한다. 마지막 단계에서는 새로이 생성된 샘플 분포에 가중치와 가능도를 적용하여 시간 t 일 때 posterior 즉, 이동객체의 위치를 추정한다.

표 (1)은 이동객체의 위치추적을 위한 이와 같은 내용을 알고리즘으로 기술한 것이다.

#### 4. 모의실험

본 장에서는 본 논문에서 제안한 위치추적 알고리즘의 성능을 평가하기 위한 모의실험을 하였다.

본 실험에서는 EKF나 UKF와 파티클 필터와의 성능 비교는 하지 않았다. 다만 일반적인 삼각측량을 통한 위치 추정 값이 제안한 알고리즘을 이용하여 보정하였을 때 오차 정도와 위치정밀도를 비교를 통해 제안 알고리즘의 성능을 알아보았다.

##### 4.1 모의실험 환경

본 논문의 성능 검증을 위해 사용된 컴퓨팅 환경과 테스트 환경은 각각 (표 2)와 (표 3)과 같다.

#### 4.2 모의실험 방법

(표 1) 파티클 필터를 이용한 이동객체 위치추적 알고리즘

```

1. 입력 : 이전 샘플들의 집합  $S_{t-1}$ , 제어 입력  $u_{t-1}$ , 관찰값  $z_t$ 
2. 초기화 :  $S_t = \Phi, \alpha = 0$ 
3. 예측 분포  $Bel^-(x_t^{(i)})$  유도 :
    $S_t^- = \{x_t^{(i)} | p(x_t | x_{t-1}, u_{t-1}) Bel(x_{t-1})\}$ 
   //관찰 값에서 예측 오차( $\epsilon$ )를 제거한 샘플 생성
4. for i=1, ..., n do
5. radius = Distance(UWB) -  $\epsilon$ ;
6.  $x_t^{(i)} = \text{Triangulation}(\text{radius});$  // 삼각측량
7.  $w_t^{(i)} = p(z_t | x_t^{(i)});$  // 가중치 계산
8.  $\alpha = \alpha + w_t^{(i)};$  // 정규화 상수 갱신
9.  $S_t = S_t \cup \{< x_t^{(i)}, w_t^{(i)} >\};$ 
10. for i=1, ..., n do
11.  $w_t^{(i)} = w_t^{(i)} / \alpha$  // 가중치 정규화
   //예측분포와 4에서 생성된 샘플들을 통합하여 샘플 재 추출
12. 초기화 :  $S'_t = \Phi, \beta = 0;$ 
13.  $S'_t = S_t^- \cup S_t;$ 
14. for i=1, ..., n do
15.  $S_t = S_t \cup \text{select}(S'_t, id);$ 
16.  $\beta = \beta + w_t^{(i)};$  //정규화 상수 갱신
17. for i=1, ..., n do
18.  $w_t^{(i)} = w_t^{(i)} / \beta$  // 가중치 정규화
19. positioning : 가중치와 가능도에 의해 위치 보정


$$P_t = \sum_{i=1}^n w_t^{(i)} * S_t^{(i)}$$


```

본 실험에서는 세 개의 앵커로부터 수신된 UWB 신호를 변환한 거리 값을 이용하여 하나의 이동객체의 위치를 추정하도록 하였다. 이 때 변환된 각 앵커로부터의 측정 거리 데이터들은 실내의 NLOS 환경을 반영하기 위해 최소 0.15m에서 최대 1.5m까지의 오차를 포함하는 값들로 센서 최대 감지 거리를 10m로 설정하여 랜덤함수를 이용하여 생성하였다. 위치추정에 사용되는 거리 값은 정확한 위치추정을 위해 각 앵커로부터 이

동객체 간의 UWB 신호를 반복하여 수신하고 그들 중 환산한 거리 값이 최소가 되는 값을 삼각측량을 위한 거리 값으로 취한다.

(표 2) 시뮬레이션에서 활용한 컴퓨터 환경

|      |                       |
|------|-----------------------|
| CPU  | Intel PentiumIV Q6600 |
| RAM  | 4096MB                |
| 운영체제 | MS Windows XP         |
| 개발도구 | MATLAB 7              |

(표 3) 시뮬레이션에서 활용한 테스트 환경

|            |                      |
|------------|----------------------|
| 이동객체 수     | 1개                   |
| Anchor의 수  | 5개                   |
| 이동객체의 시작위치 | [X] 4,500 [Y] 4,500  |
| 측정면적       | [X] 10,000 [Y] 5,000 |
| 거리 데이터     | Simulation 조건에 따라 다름 |

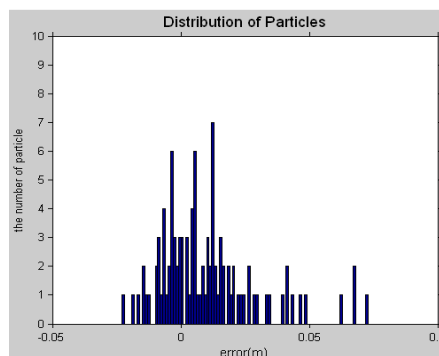
세 앵커로부터의 거리값을 이용하여 이동객체의 위치추정을 하기 전에 제거되는 오차 값은 오차를 포함한 거리 값이 실제 거리 값보다 크고, [2]의 입력된 UWB 거리 데이터들이 실제 이동객체와의 오차가 0.15m~0.45m 정도라는 점을 이용하여 이 범위의 일정한 값을 제거하도록 하였다. 하지만 제안 알고리즘에서 반복 수신된 거리 데이터들 중 최소값을 위치추정을 위한 입력 값으로 취하더라도 환경에 따라 오차의 크기가 달라지므로 입력된 거리 값에서 제거되어야 할 정확한 오차 값을 알 수 없다. 그러므로 본 실험에서는 제안 알고리즘의 오차 정도에 따른 이동객체의 위치추정 정확도를 평가하고자 입력된 신호의 거리 오차 범위를 0.15m~0.75m, 0.25m~0.85m 등 거리 데이터에 포함된 오차 크기를 최대 1m~1.55m까지 다르게 하여 이동객체의 위치를 추정 하였다.

제안 알고리즘에서는 위치정밀도를 높이기 위해 파티클 필터를 이용한다. 파티클 필터는 이동객체의 위치추정을 하기 전에 제어 입력값을 가지고 객체의 이동에 따른 예측분포  $\text{belief } \text{Bel}(x_t)$

를 유도하게 되는데 이 때, 제어 입력으로 사용되는 객체들의 이동거리 데이터들에는 미끄러짐 등으로 인한 오차가 발생하여 위치정확도에 영향을 줄 수 있으므로 제어 입력의 노이즈에 따른 위치 추정 정밀도도 알아보았다. 제어 입력 값의 노이즈에 대한 영향을 알아보기 위해서는 이동 거리에 대한 제어 입력 오차를 1mm에서부터 5mm까지 하여 위치 정확도에 대한 평가를 비교하였다.

### 4.3 모의실험 결과

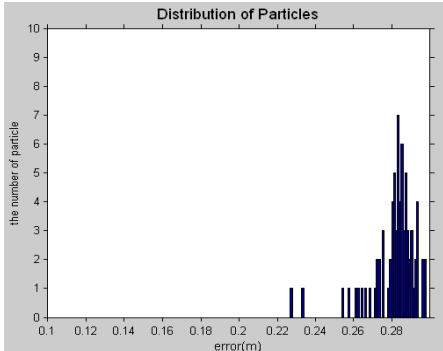
(그림 2)는 본 논문에서 제안한 알고리즘을 이용하여 한 앵커로부터 수신한 UWB 신호를 변환한 거리 값에 포함된 오차 범위가 0.15m~0.7m일 때 거리 값에 포함된 오차를 제거한 후 삼각측량으로 위치추정을 하여 생성한 샘플들의 좌표와 실제 이동객체 위치 좌표와의 오차 분포를 히스토그램으로 나타낸 것이다.



(그림 2) UWB 거리신호가 0.15m~0.7m 범위의 오차를 포함한 거리 값으로 생성한 샘플들과 실제 이동객체 위치 좌표 간의 거리 오차

(그림 3)은 NLOS가 심한 환경으로 입력된 UWB 신호의 오차범위가 1m~1.55m인 거리 값으로 객체의 위치추정을 하여 생성한 샘플들과 실제 이동객체 위치와의 오차분포를 나타낸 것이다. 입력된 거리 값의 오차에 비해 이동객체의 위치정확도가 높지만 이동객체의 추정위치와 실제 위치오차가 커서 왜곡되어 있는 것을 볼 수 있다.

그러므로 UWB 입력 거리 값에 대해 먼저 제거하게 되는 오차의 크기를 환경에 따라 어떻게 할 것인가가 이동객체의 위치 정밀도에 중요한 요소가 된다. 본 논문에서는 이 때 제거하는 오차의 크기를 어떻게 할 것인가에 대한 실험을 하여 그 결과를 비교하였다.



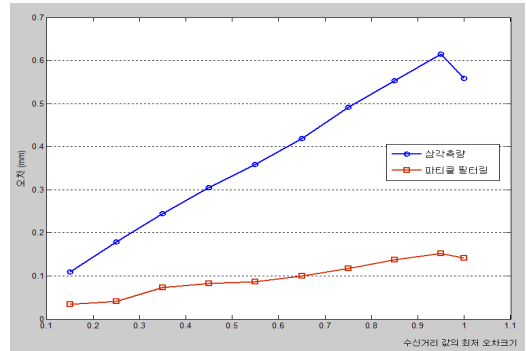
(그림 3) UWB 거리신호가 1m~1.55m 범위의 오차를 포함한 거리 값으로 생성한 샘플들과 실제 이동객체 위치 좌표 간의 거리 오차

(그림 4)는 UWB 신호 거리 값에 대한 최소 오차가 0.15m~1m이면서 최소 오차에 0.55m 오차 범위 내의 거리 값으로 추정된 삼각측량 결과와 제안 알고리즘의 파티클 필터를 적용하였을 때 평균 오차를 보인 것이다.

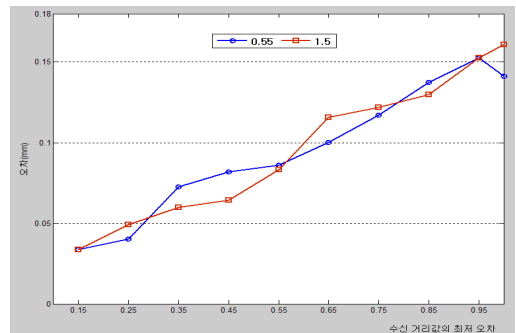
UWB 신호는 비교적 깨끗한 환경에서 앵커에서부터 이동객체 간의 거리 값이 cm정도의 측정이 가능하지만 여러 환경에 따른 NLOS를 고려하기 위해서 최소 오차를 1m까지 크게 하여 실험하였다.

(그림 5)는 최소 오차 크기가 0.15m ~1m이면서 최소 거리 값보다 0.55m보다 큰 거리 값이 관측되면 NLOS로 간주하여 데이터를 폐기하도록 하면서 위치 추정한 파티클 필터링 결과와 수신 데이터의 최소 거리 값부터 1.5m 범위의 데이터로 위치 추정을 한 파티클 필터 결과를 비교한 것이다. (그림 5)의 결과에서 환경에 따라 NLOS가 심하여 최소 거리 값에 포함된 오차가 클 경우 최소 거리

값에서부터 0.55m의 오차 범위의 거리데이터로 위치를 추정한 결과와 그렇지 않은 것과 거의 유사함을 알 수 있다.



(그림 4) UWB 신호 거리 값에 대한 최소 오차의 크기에 따른 삼각측량 결과



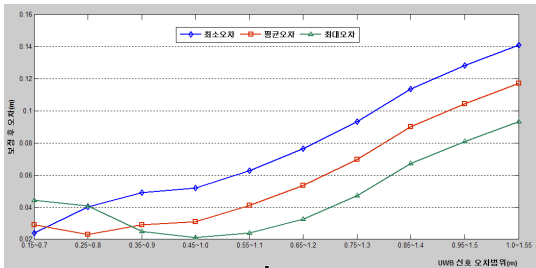
(그림 5) UWB 신호 거리 값에 대한 최소 오차 범위와 NLOS 식별방법을 적용하여 위치 추정한 결과의 오차와 NLOS 식별방법을 적용하지 않은 위치추정 오차 결과 비교

(그림 6)은 입력된 UWB 신호 거리 값에서 제거하는 오차의 크기를 최소 오차, 평균 오차, 최대 오차로 다르게 제거하여 위치 추정과 보정을 한 결과이다.

제어 입력 값의 노이즈에 대한 실험 결과는 제어 입력에 제어 입력 값인 이동거리에 대한 오차를 고려하지 않았을 때 삼각 측량은 1.07m 정도의 평균오차가 있었다. 반면 제안 파티클 필터 알고리즘은 0.281m 정도의 평균 오차가 발생하여 오차가 3cm 이내 위치 정확도를 보였으며, 이동객



체의 실제 위치와 추정 위치간의 오차가 일정하게 나타났다. 또한 이 결과로 오차 bias 값과 예측 오차 값을 감안한 거리 데이터로 위치추정을 한 후 추정 값에서 오차를 제거하는 방법보다 위치 정확도가 더 우수함을 알 수 있었다.

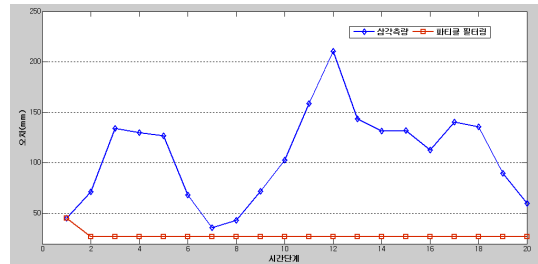


(그림 6) UWB 신호 거리데이터에서 제거한 오차크기에 따른 위치추정 결과

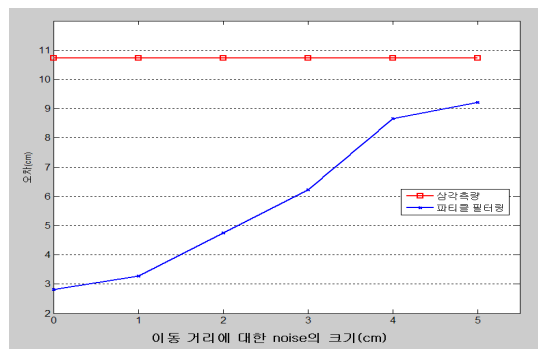
(그림 7)은 이 실험에 대한 결과로써 각 이동 시간에 따른 삼각측량 위치추정 결과와 파티클 필터를 이용한 제안 알고리즘의 위치 추정 결과를 보인 것이다. (그림 7)에서 우리는 파티클 필터를 이용한 제안 알고리즘이 이동 거리에 대한 제어 입력 값에 노이즈가 없다고 할 때, 위치 정확도가 높아졌으며 이동에 따른 오차가 누적되지 않음을 확인할 수 있었다.

이동 거리에 대한 제어 입력은 센서를 통하여 수신되는 값이므로 노이즈를 고려하지 않을 수 없다.

(그림 8)은 제어 입력인 이동거리에 포함된 센서 노이즈의 크기를 달리하면서 적용한 결과이다. (그림 8)에서 보는 것처럼 삼각측량에 의한 위치추정은 제어 입력 값에 포함된 노이즈에 큰 영향을 받지 않으나, 파티클 필터의 경우는 제어 입력에 포함된 노이즈가 클수록 이동객체의 위치 추정 결과와 실제 위치 간의 오차가 급속하게 커짐을 볼 수 있다. 그러므로 향후 연구에서는 제어입력에 대한 노이즈를 최소화 하는 방법도 고려해야 할 것이다.



(그림 7) 제어 입력 noise가 없을 때 파티클 필터와 삼각측량 오차



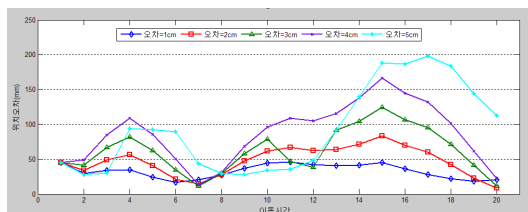
(그림 8) 제어 입력 noise 크기에 따른 파티클 필터 이동객체 측위 평균 오차

(그림 9)는 제어 입력의 노이즈 크기에 따라 이동객체가 이동할 때 파티클 필터를 이용한 이동객체의 보정측위 결과의 오차가 얼마나 달라지는지를 보인 것이다. 여기에서  $\alpha$ 는 제어입력의 노이즈의 크기를 나타낸 것이고,  $x$ 축과  $y$ 축은 각각 시간 구간과 측위 위치의 오차 크기를 나타낸 것이다.

## 5. 결론 및 향후 연구

기존 위치추정 알고리즘들은 수신된 UWB 신호를 거리 데이터로 변환하여 이동 객체의 위치추정을 한 후 UWB 신호에 포함되어 있는 오차 값을 제거하여 위치 정밀도를 높이도록 하였다. 하지만 본 논문에서 제안한 알고리즘은 계산을 간단하도록 하기 위해 수신된 거리 데이터에 포함된 오차를 먼저 제거한 후 이동객체의 위치를

추정하고, 이 추정값을 파티클 필터를 이용하여 위치 보정하는 방법을 제안하였다. 그리고 실험을 통하여 제안한 알고리즘이 기존 방법보다 정밀도가 우수함을 보였다. 또한 센서에 의한 제어 입력의 노이즈가 위치추정 정확도에 대한 영향을 확인할 수 있었다.



(그림 9) 제어 입력 noise 크기에 따른 각 시간 별 위치추위 오차

실내의 밀집된 환경은 앵커로부터 수신한 거리 값이 NLOS로 인해 실제 거리와 오차가 큰 거리 값을 수신할 수 있는데 이러한 경우 수신된 거리 데이터의 오차로 인해 이동객체의 위치 정확도가 많이 떨어지는 것을 알 수 있다. 그러므로 실내 이동객체의 위치추정 정밀도를 높이기 위해서는 NLOS 신호를 식별하고 완화할 수 있도록 하는 최적의 방법을 찾는 것이 우선되어야 할 것이다.

또한 파티클 필터를 사용하여 위치보정을 하는 경우 이동에 따른 거리입력 오차가 누적되지는 않지만 제어 입력 노이즈가 이동객체의 위치추정 정밀도에 영향을 미침을 알 수 있었다. 그러므로 제어 입력 노이즈를 완화하여 위치정밀도를 높일 수 있는 방법에 대한 연구도 필요하다. 또한 파티클 계산 자원에 따라 파티클 필터의 효율성이 달라질 수 있으므로 파티클 필터의 성능을 높이기 위해 적절한 파티클의 수를 선택하는 방법과 상황에 따라 파티클의 수를 효율적으로 다르게 선택할 수 있는 방법에 대한 연구도 필요하다[4].

향후 제안 알고리즘의 정확한 성능 평가와 좀 더 개선된 위치추정 알고리즘 개발을 위해서 반복적인 실험을 통해 본 알고리즘에서 제안한 이동객체의 위치추정 전에 UWB 거리 신호에서 먼

저 제거하는 적절한 오차 값의 크기를 찾도록 할 것이다. 또한 본 실험에서처럼 수신된 거리 값에서 일정한 크기의 오차값을 제거하는 것이 아닌 환경에 따라 다른 크기의 오차값을 제거할 수 있는 방안에 대한 연구도 수행할 것이다. 아울러 실내 환경에서 가장 큰 문제가 되고 있는 NLOS를 식별하고 완화할 수 있는 방법을 찾는 연구를 수행할 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] Nayef Alsindi and Kaveh Pahlavan. Coorative Localization Bounds for Indoor Ultra-Wideband Wireless Sensor Networks. EURASIP Journal on Advances in Signal Processing Volume 2008, Article ID 852509
- [2] J. Gonzalez et al. Mobile robot localization based on Ultra-Wide-Band ranging: A particle filter approach. Journal of Cleaner Production Volues 16, Issue 16, November 2008, Pages 1741-1754
- [3] S. Roy, J.R. Foerster, and V.S. Somayazulu. Ultrawideband radio design: The promise of high-speed short-range wireless connectivity. IEEE Proc. vol.92, no.2, pp.295-311, 2004.
- [4] Damien B. Jourdan, John J. Deyst, Jr., Moe Z. Win, Nicholas Roy. Monte Carlo Localization in Dense Multipath Environments Using UWB Ranging. IEEE International Conference on Ultra-Wideband, 2005
- [5] Greg Welch and Gary Bishop. An Introduction to the Kalman Filter. 95-041 Department of Computer Science University of North Carolina at Chapel Hill, NC 27599-3175 Updated: Monday, July 24, 2006
- [6] S.J. Julier and J.K. Uhlmann. A new extension of the Kalman filter to nonlinear systems. In Proc. of AeroSense: The 11th International Symposium

- on Aerospace/Defense Sensing, Simulation and Controls, 1997
- [7] R. E. Kalman. A new approach to linear filtering and prediction problems. *Trans. of the ASME, Journal of basic engineering*, 82:35 - 45, March 1960.
- [8] D. Koller and R. Fratkina. Using learning for approximation in stochastic processes. In *Proc. of the International Conference on Machine Learning*, 1998.
- [9] Zhao Dong-ming. Application of Unscented Kalman Filter for Non-linear Estimation in Deformation Monitoring. 3rd IAG 12th FIG Symposium, Baden, May 22-24 2006
- [10] E.A.Wan and R. van der Merwe. The unscented Kalman filter for nonlinear estimation. In *Proc. of Symposium 2000 on Adaptive Systems for Signal Processing, Communications, and Control*, 2000.
- [11] Ioannis M. Rekleitis. A Particle Filter Tutorial for Mobile Robot Localization TR-CIM-04-02.
- [12] Dieter Fox. Adapting the Sample Size in Particle Filters Through KLD-Sampling. *International Journal of Robotics Research*, 2003
- [13] 이정석, 정완균. 동적 환경에서 파티클 필터를 이용한 로봇의 강인한 위치추적 알고리즘. 제2회 한국로봇공학회 하계종합 학술대회 논문집, 2007
- [14] M. Sanjeev Arulampalam, Simon Maskell, Neil Gordon, and Tim Clapp, A Tutorial on Particle Filters for Online Nonlinear/Non-Gaussian Bayesian Tracking. *IEEE Transactions on signal processing*, 2002
- [15] F. Gustafsson, F. Gunnarsson, N. Bergman, U. Forssell, J. Jansson, R. Karlsson, and P.-J. Nordlund. Particle filters for positioning, navigation and tracking. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 2002.
- [16] P. Del Moral and L. Miclo. Branching and interacting particle systems approximations of Feynman-Kac formulae with applications to non linear filtering. In *Seminaire de Probabilites XXXIV*, number 1729 in *Lecture Notes in Mathematics*. Springer-Verlag, 2000.
- [17] A. Doucet, S.J. Godsill, and C. Andrieu. On sequential Monte Carlo sampling methods for Bayesian filtering. *Statistics and Computing*, 10(3), 2000.
- [18] D. Fox, W. Burgard, F. Dellaert, and S. Thrun. Monte Carlo Localization: Efficient position estimation for mobile robots. In *Proc. of the National Conference on Artificial Intelligence*, 1999.
- [19] Mohammed M. Olama, Seddik M. Djouadi, Ioannis G. Papageorgiou, and Charalambos D. Charalambous, Position and Velocity Tracking in Mobile Networks Using Particle and Kalman Filtering With Comparison. *IEEE Transaction On Vehicular Technology*, Vol. 57, No. 2, March. 2008
- [20] D. Fox, S. Thrun, F. Dellaert, and W. Burgard. Particle filters for mobile robot localization.
- [21] P. Jensfelt, O. Wijk, D. Austin, and M. Andersson. Feature based condensation for mobile robot localization. In *Proc. of the IEEE International Conference on Robotics & Automation*, 2000.

## ● 저 자 소 개 ●



### 김 미 경

1983년 동국대학교 수학과 졸업(학사)  
1986년 동국대학교 대학원 전자계산학과 이학석사  
2006년 한밭대학교 정보통신대학원 정보통신공학과 박사수료  
관심분야 : 데이터베이스, 공간 데이터베이스, 위치 추정 알고리즘, etc.  
E-mail : mkkim922@dreamwiz.com



### 전 현 식

2005년 한밭대학교 정보통신전문대학원 정보통신공학과 공학석사  
2005년~현재 한밭대학교 정보통신전문대학원 전파공학과 박사수료  
관심분야 : 데이터베이스, 공간 데이터베이스, 위치 추정 알고리즘, 실내 위치기반 서비스, ESL, etc.  
E-mail : hsjeon@hanbat.ac.kr



### 염 진 영

2010년 한밭대학교 전파공학과 졸업(학사)  
2010년~ 현재 한밭대학교 정보통신전문대학원 전파공학과 재학(석사)  
관심분야 : 데이터베이스, ESL, etc.  
E-mail : jyiny0125@nate.com



### 박 현 주

1997년 서울대학교 전산학과 이학박사  
2004년~2009년 한밭대학교 정보통신컴퓨터공학부 부교수  
2009년~현재한밭대학교 정보통신컴퓨터공학부 교수  
관심분야 : 공간 데이터베이스, 위치 추정 알고리즘, 실내 위치기반 서비스, 임베디드 리눅스, etc.  
E-mail : phj@hanbat.ac.kr