

Particle filter를 이용한 군집로봇의 상호위치인식

Mutual Localization of swarm robot using Particle Filter

정광민 · 심귀보*

Kwang-Min Jung and Kwee-Bo Sim*

중앙대학교 전자전기공학부

요 약

로봇은 무선센서를 이용하여 상대 로봇의 위치를 확인한다. 그로인해 자신의 이동방법을 결정하고, 이를 통해 임의위치의 이동 로봇들이 일렬종대와 횡대, 여러 집합모양, 원모양등 여러 가지 형태의 로봇집단을 형성 할 수 있을 것이다. 이러한 로봇집단 형성은 무인 잠수함이나 무인 탱크의 배치계획, 침입자에 대한 포위진형 계획 등에 이용될 것이다. 본 논문은 기반 시설이 필요 없는 군집로봇의 상호위치인식시스템에 대해 다루고 있다. 그러므로 기준점의 좌표 값을 알 필요 없는 삼변측량을 이용하여 상대좌표계에서의 로봇 간 상호위치를 인식한다. 위치탐지를 위한 주요센서로는 초음파, 적외선, 레이저, RFID, 카메라 센서 등을 들 수 있다. 이들 센서들의 정확도는 전파 수단 및 사람, 초목, 건물 등 주위 환경변화에 민감하다. 본 논문에서는 위치추정의 정확도를 높이기 위해 파티클 필터를 제안한다.

Abstract

robots determine the location of the other robot using wireless sensors. Use it to decide how to move his. And go to any location, will make shape of column and line, circle. In this paper, we discuss problem in circle formation enclosing target which moves. It is method about enclosed invader in circle formation based on mutual localization of swarm robot without infrastructure. Therefore, use trilateration that do not need to know the value of the coordinates of reference points. So, Specify enclosed point for the number of robots base on between the relative position of the robot in the coordinate system. And particle filter is proposed to improve the accuracy of the location.

Key Words : Particle filter, Mutual localization, Swarm robot, Triangulation

1. 서 론

최근 무선통신 기술과 센서 하드웨어 기술의 급속한 발달로 저비용, 저전력의 무선 센서의 개발이 가능해짐에 따라 광범위한 지역의 표적 추적, 침입자 탐색, 생태 환경 모니터링 그리고 실시간 교통정보 모니터링 등 다양한 분야에서 무선 센서의 사용이 가능해지고 있다.

무선 센서는 군집로봇의 상호위치인식에도 사용이 가능하다. 로봇은 상대 로봇의 위치를 확인하여 자신의 이동방법을 결정하고, 이를 통해 임의위치의 이동 로봇들이 일렬종대와 횡대, 여러 집합모양, 원모양등 여러 가지 형태의 로봇집단을 형성 할 수 있을 것이다. 이러한 로봇집단 형성은 무인 잠수함이나 무인 탱크의 배치계획, 침입자에 대한 포위진형 계획 등에 이용될 것이다.

위치탐지를 위한 주요센서로는 초음파, 적외선, 레이저,

RFID, 카메라 센서 등을 들 수 있다. 이들 센서들을 이용한 위치탐지 기술로는 TOA, TDOA, AOA, RSSI, 삼각측량법, 장면분석, 근접성 등을 들 수 있으며 각 기술의 특성에 따라 각종 응용에 널리 이용되고 있음을 알 수 있다. 그러나 이러한 위치추정의 정확도는 전파 수단 및 사람, 초목, 건물 등 주위 환경변화에 민감하다. 본 논문에서는 위치추정의 정확도를 높이기 위해 파티클 필터를 제안한다.

논문의 구성은 다음과 같은 순서로 구성되어 있다. 제 2장에서는 로봇간 거리 측정 기술들에 대해 간략히 기술한다. 제 3장에서는 로봇간의 위치계산 알고리즘을 소개하고, 제 4장에서는 제안한 파티클 필터를 적용하여 위치추정의 정확성을 높이는 방법을 설명한다. 제 5장에서는 시뮬레이션 결과를 보이고 제 6장에서 결론 및 향후 과제로 마무리한다.

2. 거리측정 기술

대표적인 센서간 거리측정 기술에는 RSSI(Received Signal Strength Indicator), ToA(Time of Arrival), TDoA(Time Difference of Arrival), 그리고 AoA(Angle of Arrival)등이 있다[1].

접수일자 : 2009년 11월 30일

완료일자 : 2010년 3월 16일

* 교신 저자

본 논문은 본 학회 2009년도 춘계 학술대회에서 선정된 우수논문입니다.

감사의 글 : 이 논문은 2008년도 서울시 기술이전 지원 사업 과제의 연구비 지원에 의한 것입니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

2.1 RSSI(Received Signal Strength Indicator)

RSSI를 이용한 거리 측정 방법은 AP(Access Point)에서 수신된 무선이동장치 혹은 태그의 신호 세기를 측정하여 이용하는 것으로, 태그와 AP 사이에서의 신호의 파워 손실 혹은 경로 손실(path loss)을 신호가 이동한 거리와 연결시키는 방식이다. 신호의 경로 손실과 거리와의 관계는 식 (1)에 보이는 Friis의 공식에 의해 설명된다.

$$L = 20\log_{10}\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right) [\text{dBm}] \quad (1)$$

RSSI를 사용한 위치 추정의 정확성은 RSSI 측정의 정확성과 실제 이동 장치가 있는 환경에 따라 달라진다. 즉, 환경에 따라 측정된 RSSI 값이 안정적이지 않을 수 있다는 것이다. 예를 들면, 태그 및 AP의 안테나 방향성, 송신기와 수신기 사이에 존재하는 장애물 (예를 들면, 벽, 기둥, 가구, 사람 등), 사무실의 칸막이나 벽의 재질은 신호의 경로 손실에 커다란 영향을 미친다. 또한, 식 (1)에서 보이는 것처럼 신호의 경로 손실과 거리와의 관계는 로그 관계가 존재하기 때문에, 측정되는 거리가 멀면 멀수록 경로 손실의 변화가 위치 추정 정확도에 미치는 영향은 커진다. 따라서 RSSI를 이용한 위치 추정은 상대적으로 낮은 위치 추정 정확성 및 낮은 위치 추정 안정성을 제공한다. 그러나 RSSI를 사용하기 위한 장치의 구조가 간단하고 기존의 근거리 무선 통신 기술들이 RSSI 정보를 이용할 수 있는 구조를 취하고 있기 때문에 위치 추적과 관련된 분야에서 광범위하게 사용되고 있다.

2.2 ToA(Time of Arrival)

신호원과 수신기 사이의 전파 도달 시간을 측정하여 신호원의 위치를 측정하는 방식. 신호원과 수신기가 모두 정확히 동기 되어야 하며, 신호원에서 신호가 언제 출발했는지를 알기 위한 시각 표시가 필요하다. Two way time of arrival(TW-TOA)[2]거리 측정 기술은 기존의 RSSI기반의 기술보다 더 높은 정확도를 가진 거리 측정 기술이며, 초음파 속도의 약 90만 배 빠른 실제 RF전파를 기준으로 한다.

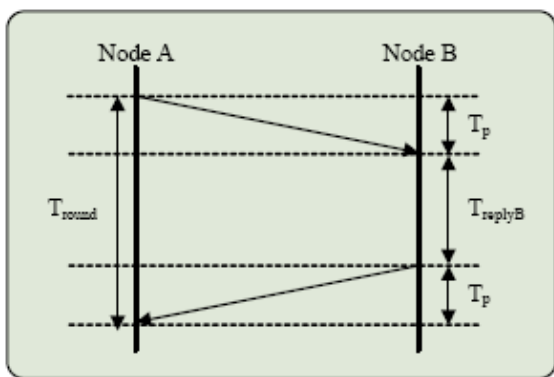


그림 1. TW-TOA
Fig. 1. TW-TOA

그림 1과 같이 거리를 측정하기 위해 노드 A는 패킷의 전송이 시작 되는 시간을 저장해두고, 노드 B에서는 패킷이 도착한 시간을 저장 한다. 노드 B는 TreplyB만큼의 시간을 기다리고, 다시 노드 A에게 Ranging 메시지를 보낸다. 여기서, TreplyB는 \$T_p\$보다 더 길게 설정 한다. 마지막으로

노드 B는 자신이 측정한 시간을 노드 A에게 모두 전송한다. 그리고 \$T_p\$시간은 \$(T_{round}-T_{replyB})/2\$를 해서 구할 수 있다.

2.3 TDoA(Time Difference of Arrival)

신호가 전달되는데 걸리는 시간차를 측정하여 이를 거리로 변환하여 위치 추정에 이용하는 것이다.

$$\Delta d = \frac{\Delta t}{c} = \frac{1}{c} |t_1 - t_2| \quad (2)$$

(x, y)로 표현되는 2차원 상의 위치값에 대해서 식 (2)를 전개하면 2원 2차 방정식을 푸는 문제가 되는데, 이는 계산과정도 복잡하고 계산 양도 많다는 문제가 있다. 그림 2는 TDoA를 이용한 거리 산출방법의 예이다. Beacon에서 Listener로 비동기 적으로 RF신호와 초음파 신호를 보낸다. 타이머는 RF 신호를 수신하면 시작되고 초음파 신호를 수신하면 정지 된다. 타이머를 이용하여 초음파 신호의 도달 시간 계산하고 초당 340m/s인 초음파 속도와 곱하여 거리를 산출한다[3].

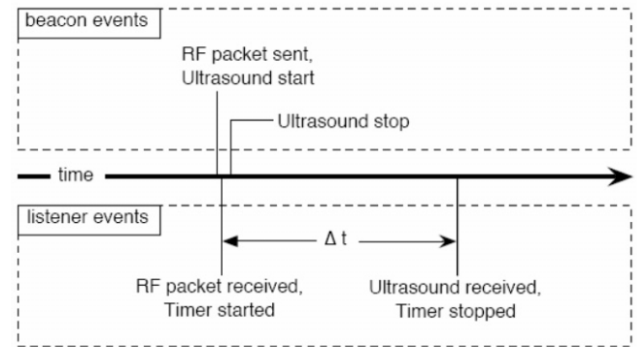


그림 2. Beacon과 Listener 의 거리 산출 방법.
Fig. 2. Method of measure a distance between Beacon and Listener

3. 위치계산 알고리즘

위의 2장에서 설명한 거리측정 방법들을 기반으로 삼변측량, Bounding box, 삼각측량을 이용해 로봇들의 상호 위치를 계산 할 수 있다.

3.1 삼각측량(Triangulation)

삼각측량법은 간단한 기하학적인 방법으로 RTLS 시스템에서는 2차원 평면상에서 이동하는 개체의 실시간 위치를 추정하는데 가장 보편적으로 사용되는 방법이다. 2차원 평면상(이하 2차원 평면만을 가정한다.)에서 이동하는 개체의 실시간 위치를 추정하기 위해서는 최소 3개 이상의 기준점이 필요하다. 이런 기준점을 AP1, AP2, AP3라고 하고, 아래 그림 3에서 보이는 것처럼 각 AP의 좌표를 \$(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3)\$라고 하자. 이동하는 개체를 M으로 나타내고, 현재의 위치가 \$(x, y)\$라고 하자. 또한, 이동 개체 M으로부터 세 개의 기준점까지의 거리를 \$d_1, d_2, d_3\$이라고 하자.

이동 개체 M으로부터 각 기준점 사이의 거리는 피타고

라스 정리에 의해 간단히 계산될 수 있다. 즉,

$$d_1^2 = (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 \quad (3)$$

$$d_2^2 = (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 \quad (4)$$

$$d_3^2 = (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 \quad (5)$$

가 된다. 여기서 d_1, d_2, d_3 의 값은 다양한 방식에 의해 얻어질 수 있다. 위에서 기술한, 수신 신호의 세기(RSSI)와 의 관계를 이용해서 구할 수도 있으며, 도착 시간(TOA) 혹은 도착 시간차(TDOA) 등을 이용해서도 구할 수 있다. 따라서 이곳에서는 d_1, d_2, d_3 의 값을 알고 있다고 가정한다. 또한, 세 기준점의 좌표값도 알고 있기 때문에, 이동 개체의 현재 위치인 (x, y) 의 값을 위의 식(1)~(2)를 이용해서 구할 수 있다.

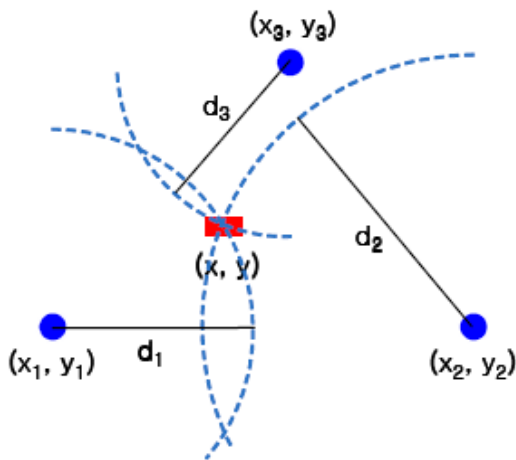


그림 3. 삼각 측량법
Fig. 3. Triangulation

3.2 삼변측량(Trilateration)

전자기파 거리 측량기(EDM)의 출현으로 장거리관측의 정확도가 높아짐에 따라 변길이를 만을 관측하여 수평위치결정 삼변측량 방법 대두 되었다. cosin 제 2법칙을 이용하여 변길이로부터 각을 구하고 구한 각과 변에 의해 수평위치를 결정한다. 삼각형의 세 변의 길이를 알고 있기 때문에 cosin 제 2법칙에 의해 두 변의 사이 각을 알 수 있다. 사이 각을 알 수 있으므로 삼각형의 높이도 알게 된다.

본 논문에서는 이동하는 로봇들이 노드가 되므로 이 삼변측량을 이용하여 상대 위치를 파악한다.

3.3 Bounding box

Bounding box법은 노드사이의 거리측정 시 오차가 발생했다는 가정 하에 설계 되었다. 위치계산은 두 원을 그룹으로 생성한 후(AB, AC, BD, CD) 두 교점을 이용해서 사각형 Boundary안의 네 점(I, II, III, VI)의 위치를 구한다. 예를 들어, A원과 B원의 두 교점을 계산하면 아래 와 같다.

$$d_1^2 = (x_I - x_1)^2 + (y_I - y_1)^2 \quad (6)$$

$$d_2^2 = (x_I - x_1)^2 + (y_I - y_1)^2 \quad (7)$$

여기서 $y_1 = y_2$ 이기 때문에 x_I 값을 구하면 아래 식과 같

다.

$$x_I = \frac{d_1^2 - d_2^2 + x_2^2 - x_1^2}{2(x_2 - x_1)} \quad (8)$$

마지막으로 x_I 값을 이용해 쉽게 두 개의 y' 값을 구할 수 있으며, 그중 하나의 값 (x_I, y') 을 사용해 I(x_I, y_I)의 값을 구할 수 있다. 계속해서 이런 방식으로 포인트 IV를 계산하고, 포인트 II와 III을 구하기 위해서는 x_i 의 값이 동일하기 때문에 $(x', y_{II}), (x', y_{III})$ 을 구할 수 있다. 최종적으로 좌표 (x, y) 를 아래 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$x = \frac{x_I + x_{II} + x_{III} + x_{IV}}{4} \quad (9)$$

$$y = \frac{y_I + y_{II} + y_{III} + y_{IV}}{4} \quad (10)$$

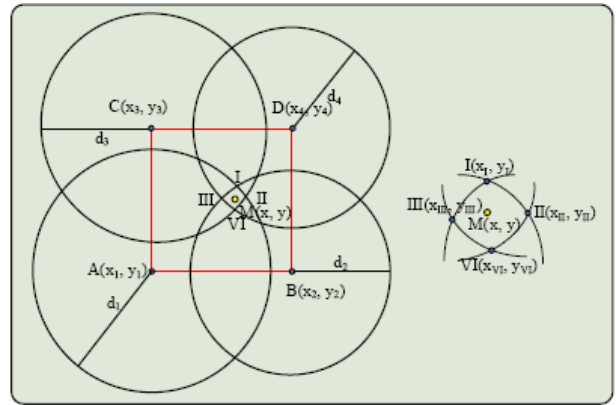


그림 4. 이동 노드의 위치 계산.
Fig. 4. Localization of mobility point

4. 파티클 필터 적용

본 논문은 기반 시설이 필요 없는 군집로봇의 상호위치 인식시스템에 대해 다루고 있다. 기존의 다개체 로봇 연구를 좀 쉽게 하는 것이 로봇축구처럼 위에서 카메라로 쏘거나 주변의 기반시설들을 이용해서 로봇들의 절대위치를 측정하고 그걸로 상대위치를 다시 계산해서 쓰고 있다. 이 경우 이 기반시설들이 어떻게 설치되어있느냐가 시스템 성능에 큰 영향을 끼치고, 기반시설을 설치하는 비용과 시간이 든다.

그러므로 본 논문은 기준점의 좌표 값을 알아야하는 삼각측량이나 Bounding box법을 쓰지 않고 삼변측량을 이용하여 로봇 두 대로 만들어지는 상대좌표계에서의 로봇 간 상호위치를 인식한다. 그리고 그렇게 측정된 로봇들의 위치와 위치의 변화량을 이용해서 로봇들의 진행방향을 측정하고, 로봇의 배치나 진형을 계획한다. 이 때, 정밀한 배치와 진형을 구성하기 위해서 파티클 필터로 오차를 보정한다.

본 논문은 이러한 상호위치인식시스템에 기반을 둔 침입자 포위에 대해 말하고자 한다.

4.1 삼변측량을 이용한 위치추정

다음의 그림 5에서 보는 것과 같이 로봇이 3대가 있을

때 2대로 만들어 지는 상대 좌표계로 나머지 한 대의 위치를 측정한다. 그러므로 로봇 1의 좌표는 (0, 0)이 되고 로봇 2의 좌표는 (0, d_{12})가 된다. 세 변 d_{12} , d_{13} , d_{23} 을 알고 있으므로 cosine 제 2법칙을 이용하여 각 변의 사이 각을 알 수 있고, 로봇 3의 x 좌표는 삼각형의 높이인 h 가 된다. 그리하여, 로봇 3의 y 좌표도 $\sqrt{d_{13}^2 - h^2}$ 임을 알 수 있다. 그러므로 로봇 3의 좌표는 (h , $\sqrt{d_{13}^2 - h^2}$)가 된다.

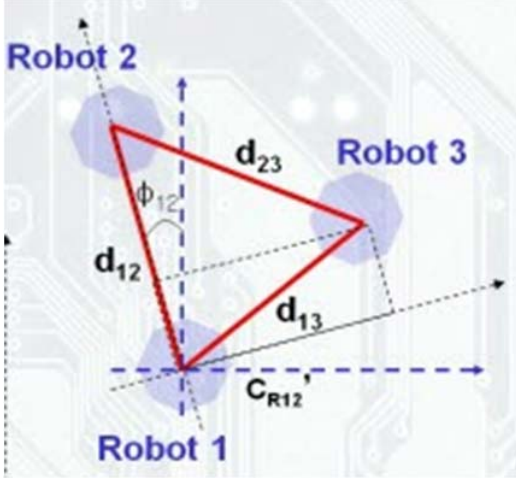


그림 5. 삼변측량을 이용한 위치추정
Fig. 5. Localization using trilateration

4.2 예측단계(prediction step)

처음에 추정된 위치 근처에 다수의 파티클들을 분포시키고 로봇이 이동하면서 dead reckoning을 이용하여 계산한 이동거리로 다음 위치를 예측한다.

$$\overline{bel}(x_t) = \int p(x_t|x_{t-1}, u_{t-1}) bel(x_{t-1}) dx_{t-1} \quad (11)$$

Bayes filter를 적용한 이동모델(motion model)에 따른 파티클들의 확률변화를 위의 식 (11)에 표현하였다. 이전 위치 x_{t-1} 에서의 확률 $bel(x_{t-1})$ 에 위에서 설계한 이동모델인 $p(x_t|x_{t-1}, u_{t-1})$ 을 적용함으로써 새로운 위치 x_t 에서의 확률 $\overline{bel}(x_t)$ 를 계산한다[4].

4.3 가중치 계산 단계

센서로부터 들어온 위치와 각 파티클의 예상 위치를 비교하여 각 파티클의 가중치를 계산한다. 본 논문에서는 dead reckoning으로 계산한 예상 위치와 삼변측량으로 추정된 위치를 비교하게 된다. dead reckoning으로 예측한 로봇의 위치를 센서모델(삼변측량) $p(z_t|x_t)$ 을 이용하여 보다 정확한 현재 위치의 확률 $bel(x_t)$ 을 식 (12)을 적용하여 구하는 것이다.

$$bel(x_t) = \eta p(z_t|x_t) \overline{bel}(x_t) \quad (12)$$

위 식 (12)에서 $\eta p(z_t|x_t)$ 가 가중치라는 개념이 되는 것이다. 그러므로 식 (12)을 통해 얻어지는 가중치는 아래 식 (13)과 같이 결정한다.

$$w_t = p(z_t|x_t) \times w_{t-1} \quad (13)$$

4.4 재추출 단계 (Resampling step)

앞의 두 단계를 거치고 나면 각 파티클들은 제어 입력을 따라 이동하고 삼변측량으로 추정된 위치를 통해 보정된 가중치 값을 가지게 된다. 파티클 재추출 단계에서는 시간 t 에서의 새로운 파티클을 이 가중치를 이용하여 다시 추출하게 되고 새롭게 추출된 파티클은 현재 로봇의 위치를 좀 더 정확하게 표현하게 된다[5].

4.5 포위위치 결정

먼저 로봇들이 순찰하는 동안 하나의 로봇이 침입자를 발견하게 되면 이 로봇이 leader robot이 된다. 이 때, leader robot은 침입자와 상대좌표계를 생성하게 된다. 즉, leader robot의 좌표는 (0, 0)이 되고, 침입자의 좌표는 (0, r)이 된다. 여기서 r 은 로봇과 침입자의 거리로 주변 환경, 로봇의 크기나 침입자의 크기 등을 고려해 사용자가 정해준다.

Leader robot은 이 좌표가 유지 되도록 침입자를 추적하게 된다. 그리고 동시에 주변의 로봇들에게 침입자 발견 메시지를 보낸다. 그리하여 포위 formation은 그림 6과 같이 circle formation으로 하여 응답한 로봇을 helper robot이라 하면 helper robot의 개수 n 에 맞게 포위위치의 좌표를 cosine 제 2법칙으로 계산한다. 이렇게 계산된 위치로 helper robot이 이동하게 되는 것이다. helper robot이 포위위치로 이동할 때 침입자와 leader robot의 절대 위치는 수시로 변하지만 상대 좌표계는 변함이 없고, 상대 좌표계에서의 포위위치 또한 변함이 없다. 그러므로 삼변측량을 할 때 particle filter로 보정한다면 helper robot이 정확한 포위위치로 이동할 것으로 보인다.

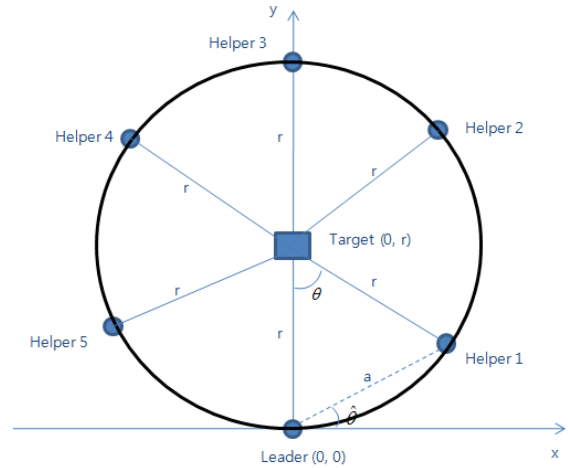


그림 6. 계산된 circle formation
Fig. 6. calculated circle formation

5. 시뮬레이션 및 결과 고찰

본 논문에서는 matlab을 이용하여 파티클 필터의 효과에 대하여 시뮬레이션 해 보았고, visual studio를 이용하여 포위위치를 계산 해 circle formation으로 침입자를 포위하는 시뮬레이션 해보았다.

시뮬레이션 결과 센서 값으로만 로봇의 현재 위치를 추정하는 것보다 파티클 필터를 이용하여 오차를 보정하므로

써 로봇의 현재 위치를 좀 더 정확하게 표현되는 것을 알 수 있었다. 그러므로 기반 시설 없이 삼변측량으로 상대 위치를 추정해야 하는 상황에서 정밀한 배치와 진행을 구성하기 위해서는 파티클 필터에 의한 효과가 필수적이다.

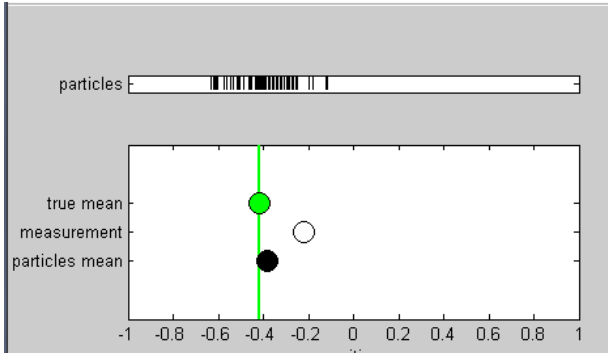


그림 7. 파티클 필터의 시뮬레이션 결과 1
Fig. 7. Result 1 of experiment by particle filter

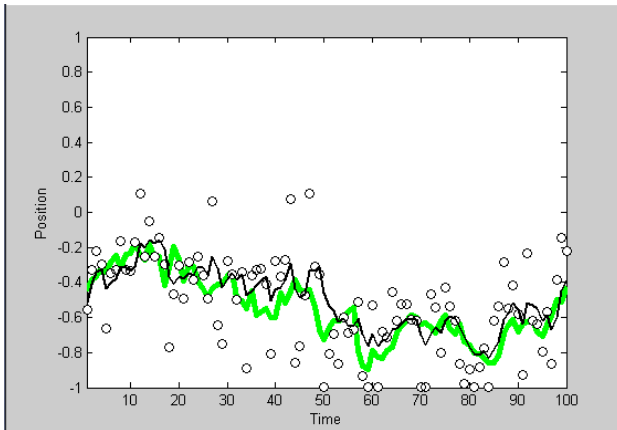


그림 8. 파티클 필터의 시뮬레이션 결과 2
Fig. 8. Result 2 of experiment by particle filter

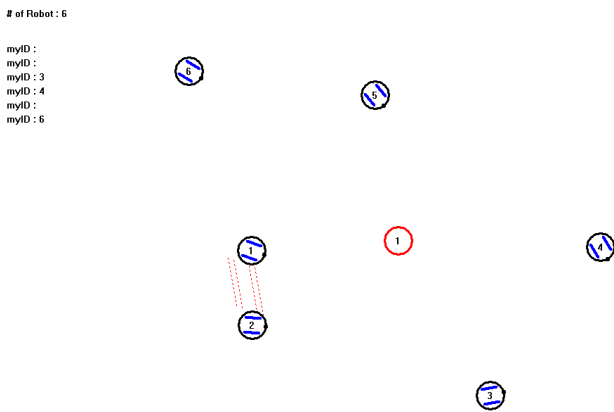


그림 9. 로봇과 침입자의 초기 위치
Fig. 9. Initial position of robot and intruder

그리고 파티클 필터를 적용하지 않았지만 삼변측량을 이용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 침입자를 포위하는 알고리즘을 평가하였다. 로봇은 6대로 가정하였으며, 각각의 로

봇과 침입자의 초기 위치를 바꾸어가며 실험하였다. 그림 9, 10의 실험에서는 로봇들이 circle formation으로 침입자를 포위하는 것을 보인다.

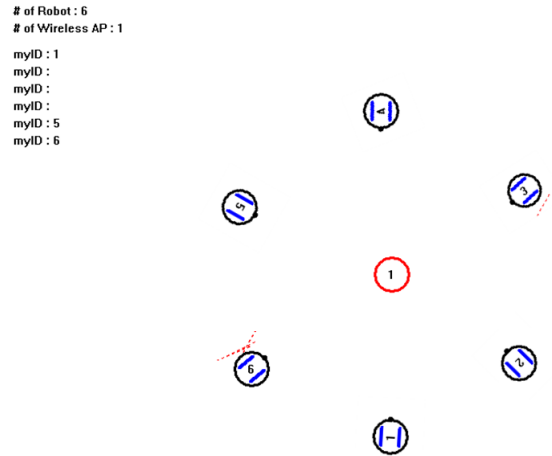


그림 10. 시뮬레이션 결과
Fig. 10. Result of experiments

6. 결론 및 향후 과제

본 논문은 기반 시설 없이 군집로봇들이 여러 가지 형태의 로봇집단을 형성할 수 있는 방법에 대해 설명하였다. 기반 시설이 없기 때문에 기준점의 좌표를 알 필요 없는 삼변측량을 이용하여 각 로봇들이 기준점이 되어 로봇 2대로 만들어 지는 상대 좌표계로 나머지 한 대의 위치를 상대적으로 측정한다. 삼변측량을 하기 위해서는 각 로봇들 간의 거리를 알아야한다. 거리를 측정하는 주요센서로는 초음파, 적외선, 레이저, RFID, 카메라 센서 등을 들 수 있다. 이들 센서들을 이용한 위치탐지 기술로는 TOA, TDOA, AOA, RSSI, 삼각측량법, 장면분석, 근접성 등이 있다. 그러나 이러한 위치추정의 정확도는 전파 수단 및 사람, 초목, 건물 등 주위 환경변화에 민감하다. 그러므로 본 논문에서는 위치추정의 정확도를 높이기 위해 파티클 필터를 제안하였다. 그리고 삼변측량으로 포위위치를 계산하여 침입자를 circle formation으로 포위하는 알고리즘을 제안하였다.

처음에 삼변측량으로 추정된 위치 근처에 다수의 파티클들을 분포시키고 로봇이 이동하면서 dead reckoning을 이용하여 계산한 이동거리로 다음 위치를 예측한다. 센서로부터 들어온 위치와 각 파티클의 예상 위치를 비교하여 각 파티클의 가중치를 계산한다. 본 논문에서는 dead reckoning으로 계산한 예상 위치와 삼변측량으로 추정된 위치를 비교하게 된다. 앞의 두 단계를 거치고 나면 각 파티클들은 제어 입력을 따라 이동하고 삼변측량으로 추정된 위치를 통해 보정된 가중치 값을 가지게 된다. 파티클 재추출 단계에서는 새로운 파티클을 이 가중치를 이용하여 다시 추출하게 되고 새롭게 추출된 파티클은 현재 로봇의 위치를 좀 더 정확하게 표현하게 되는 것이다. 시뮬레이션으로 거리측정에서 로봇의 실제위치를 파티클 필터를 이용함으로써 좀 더 정확하게 표현됨을 보였다.

향후 연구는 다음과 같은 점을 고려하여 진행해 나갈 예정이다. 첫째, 다양한 장애물과 다수의 로봇이 존재하는 복

잡한 환경에서의 시뮬레이션을 통해 제안된 알고리즘을 평가하고 수정할 것이다. 둘째, 컴퓨터 시뮬레이션 환경이 아닌 실제 로봇에 적용함으로써 제안된 알고리즘의 문제점과 성능을 평가해볼 것이다. 이러한 과정을 통하여 우리는 본 논문에서 제안한 알고리즘의 성능을 평가하고, 수정이 필요한 부분을 보완하여 더욱 적합한 알고리즘을 만들어 낼 수 있을 것이다. 이러한 복잡하거나 열악한 환경에도 파티클 필터의 적용이 이루어 질 수 있도록 추가 연구를 진행할 예정이다.

참 고 문 헌

[1] Boukerche, A, Oliveira, H.A.B, Nakamura, E.F, and Loureiro, A.A.F, "Localization systems for wireless sensor networks," *Wireless Communications, IEEE*, Vol 14, pp 6-12, Dec 2007.

[2] Yi Jiang and Victor C. M. Leung, "An asymmetric double sided two-way ranging for crystal offset," *Proceeding of the International Symposium on signals, systems and Electronics. IEEE*, pp. 525-528, 2007.

[3] Nissanka B. Priyantha, Anit Chakraborty, Hari Balakrishnan, "The Cricket Location - Support system," *6th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (ACM MOBICOM)*, Boston, MA, pp. 32-43, August, 2000.

[4] Madow, W. G, "On the theory of systematic sampling, II" *Annals of Mathematical Statistics*, 20, pp. 333-354, 1949.

[5] H. Yamaguchi, "A Cooperative Hunting Behavior by Mobile Robot Troops," *Proceeding of the 1998 IEEE International Conference on Robotics and Automation(ICRA'98)*, pp. 3204-3209, 1998.

[6] D. J. Park and B. E. Mullins, "Toward Finding an Universal Search Algorithm for Swarm Robots," *Proceeding of the 2003 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Las Vegas, Nevada, pp.1945-1950, October, 2003.

[7] H. Yamaguchi, "A Cooperative Hunting Behavior by multiple nonholonomous Mobile Robots," *Proceeding of the 1998 IEEE International Conference on Robotics and Automation(ICRA'98)*, pp. 3347-3352, 1998.

[8] J. Borenstein, Y. Koren, "Potential Field Methods and Their Inherent Limitations for Mobile Robot Navigation", *Proceeding of the IEEE Conference on Robotics and Automation(ICRA'91)*, Sacramento, California, pp. 1398-1404, April 7-12, 1991.

저 자 소 개



정 광민(Kwang-Min Jung)

2009년 : 중앙대학교 전자전기공학부 공학사
2009년 ~ 현재 : 중앙대학교 대학원
전자전기공학부 석사과정

관심분야 : Machine Learning, Multi Agent Robotic System 등



심귀보 (Kwee-Bo Sim)

1990년 : The University of Tokyo
전자공학과 공학박사

[제20권 1호 (2010년 2월호) 참조]

1991년 ~ 현재 : 중앙대학교
전자전기공학부 교수
2006년 ~ 2007년 : 한국지능시스템학회 회장

E-mail : kbsim@cau.ac.kr
Homepage URL : http://alife.cau.ac.kr