

무선 센서 네트워크에서 이동성 로봇을 이용한  
센서 위치 인식 기법에 관한 연구  
A Localization Scheme Using Mobile Robot  
in Wireless Sensor Networks

김우현\*  
Woo-Hyun Kim\*

<Abstract>

Accurate and low-cost sensor localization is a critical requirement for the deployment of wireless sensor networks in a wide variety of application. Sensor position is used for its data to be meaningful and for energy efficient data routing algorithm especially geographic routing. The previous works for sensor localization utilize global positioning system(GPS) or estimate unknown-location nodes position with help of some small reference nodes which know their position previously. However, the traditional localization techniques are not well suited in the sensor network for the cost of sensors is too high. In this paper, we propose the sensor localization method with a mobile robot, which knows its position, moves through the sensing field along pre-scheduled path and gives position information to the unknown-location nodes through wireless channel to estimate their position. We suggest using the sensor position estimation method and an efficient mobility path model. To validate our method, we carried out a computer simulation, and observed that our technique achieved sensor localization more accurately and efficiently than the conventional one.

*Keywords : Mobile robot, Sensor network, Localization*

1. 서론

인간, 컴퓨터, 사물을 유기적으로 연계하여 다양하고 편리한 서비스를 제공해 주는 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에서, 외부 환경의 감시와 제

어 기능을 수행할 수 있는 센서 네트워크 기술이 최근 활발히 연구되고 있다. 이러한 센서 네트워크 기술은 다양한 종류의 센서 개발과 저전력 저가격의 무선 통신 기술, 초소형 마이크로 프로세스 기술 등의 발전에 따라 다양한 분

\* 교신저자, 정회원, 영남이공대학 로보테크과 조교수, 工博  
E-mail : whkim@ync.ac.kr

\* Corresponding Author, Assistant Prof. Dpt. of Robotech  
Engineering Yeungnam College of Science & Technology

야에서 연구되고 있다.

센서 네트워크를 군사용 시스템에 적용하여 직접 접근이 위험한 적진의 군사 동향 감시, 적 병력위치 추적 등에 사용되고 있으며, 과학적 응용으로는 장기간의 관찰이 필요한 생태계 감시 시스템 등이 있다. 또한 상업적 응용으로 교통의 감시와 제어를 위한 최첨단 지능형 교통 시스템, 지진에 능동적으로 대처하여 건물의 안전을 지키는 구조물 안전 시스템, 환경의 영향을 고려하여 필요할 때 농작물에 물과 비료를 주어 비용을 줄이기 위한 경작 시스템 등 다양한 분야에 적용되고 있다.

이러한 센서 네트워크 응용이 가능 하려면 많은 센서가 필요하고 경우에 따라서는 수백, 수천의 센서가 필요한 경우도 있어서 센서 장치의 가격을 낮추는 것이 아주 중요하다. 또 센서가 배터리 교환 없이 수년 이상 동작 가능해야 하고 인간의 간섭 없이도 스스로 네트워크를 구성할 수 있어야 한다.

센서 네트워크에서 중요한 이슈 중 하나는 무선 네트워크에서 센서의 자동 위치 인식 문제이다. 센서의 위치가 필요한 가장 주요한 이유는 센서가 감지한 데이터가 의미를 가지기 위해서이고, 또 다른 이유로는 센서 네트워크에서 흔히 사용되는 지리적(geographic) 라우팅 알고리즘에서 센서 위치 정보가 반드시 필요하기 때문이다<sup>2)</sup>. 센서 위치 인식을 위한 기존의 방법으로는 GPS를 센서에 장착하는 방법이다. 그러나 GPS 모듈의 가격이 비싸고 또 에너지 소모가 크기 때문에 센서 네트워크에 적용하기 쉽지 않다. 또 GPS는 지하나 나무 아래 혹은 화성과 같은 타 행성에서는 위치 정보를 제공 받을 수 없다.

이러한 제약을 극복하기 위해 센서들 사이에 적절한 개수의 위치를 알고 있는 노드, 예를 들면 GPS를 장착한 노드를 배치하여 통신으로 센서들에게 위치정보를 전파하는 방법에 대한 여러 연구들<sup>4-6)</sup>이 진행되었다.

본 논문에서 사전에 자신의 위치를 알고 있어서 센서의 위치 설정을 돕는 노드를 앵커(Anchor) 노드라 부른다<sup>1)</sup>. 이러한 연구들에서 고정된 앵커 노드는 주변으로 자신의 위치를 전파하면 이를 수신한 센서들이 다시 자신의 주변 센서들에게 앵커 노드의 위치를 전파하여 센싱 영역 전체로 앵커의 위치를 전파하는 방

법을 사용한다. 그렇게 하면 위치를 모르는 센서 노드는 3개 이상 앵커의 위치와 자신과의 거리를 이용하여 기하학의 삼각 기법으로 자신의 위치를 파악한다<sup>1)</sup>. 그러나 이러한 방법에서는 앵커의 위치가 멀티 홉으로 전송되어야 하므로 앵커와 센서의 정확한 거리 측정에 오차가 발생하게 되고 이로 인하여 위치 측정의 정확도가 떨어지게 된다.

본 논문에서는 센서 네트워크에 위치 인식 시스템을 장착하고 있는 로봇<sup>7-9)</sup>을 투입하여 고정된 센서 노드의 위치를 최소한의 오차로 인식시킬 수 있는 방법을 제안하고자 한다. 로봇은 정해진 이동 경로를 따라 이동하면서 주기적으로 자신의 위치를 담은 메시지를 발송한다. 로봇의 전파 전송 범위 내에 위치한 센서는 위의 메시지를 수신한 후 자신의 위치를 계산한다. 본 논문에서는 로봇으로부터 수신한 메시지로 위치 정보를 계산하는 방법과 효과적인 로봇의 이동 방법에 대해 다루고자 한다.

## 2. 기존 센서 위치 인식 방법

### 2.1 GPS를 이용한 센서 위치 인식

센서의 위치 인식 방법 중 가장 전통적인 방법은 GPS를 센서에 장착하는 것이다. GPS는 인공위성을 이용한 지구위치 결정체제로 정확한 위치를 알고 있는 위성에서 발사한 전파를 수신하여 관측 점까지 소요시간을 관측함으로써 관측 점의 위치를 구하는 체계이다. 즉, 4개 이상의 위성을 이용하면 3차원적인 위치를 측정할 수 있다. 1973년 미국에서 개발되기 시작한 GPS는 현재 총 24개의 위성이 작동하고 있다<sup>10)</sup>.

이러한 GPS 시스템은 위성의 신호를 수신하여야 하므로 위성의 신호를 수신할 수 없는 건물 내부나 지하 시설, 나무 아래 위치에서는 정확한 위치를 알 수 없다. 또 인공위성이 없는 화성과 같은 타 행성에서는 위치 정보를 제공 받을 수 없다. 따라서 이러한 환경에서 센서 네트워크는 GPS를 이용한 위치 인식 방법을 사용할 수 없다. GPS는 위성으로 받은 신호를 복잡한 계산 과정을 거쳐 위치 정보를 제공하므로 성능이 좋은 프로세서를 사용하여 가격이 비싸고 에너지 소모량도 많다. 따라서 센서를 다량으로 분포시켜야 하는 센서 네트워크에는 가격과 네트워크 생존시간 측면에서 적합하지 않다.

## 2.2 베이스 기지를 이용한 센서 위치 인식

이 방법은 기존의 애드 혹(ad-hoc) 무선 통신에서 각 무선 노드의 위치 인식 방법<sup>3)</sup>을 센서 네트워크에 적용시키는 방법이다. 이는 센서가 분포된 영역을 커버할 수 있는 여러 개의 베이스 기지를 분포시켜 각 센서가 베이스 기지까지의 거리를 측정하여 기하학적인 계산으로 자신의 거리를 측정하는 방법이다. 각 센서는 수신되는 베이스 기지의 신호 세기를 측정하여 자신과 베이스 기지들 사이의 거리를 계산하고 센서가 세 개 이상의 베이스 기지로부터 거리를 측정한 후 자신의 위치를 계산한다. 그러나 현실적으로 센서 네트워크를 위해 베이스 기지를 만드는 것이 현실적이지 않고 기존에 베이스 기지가 설치되어 있는 지역에서만 적용할 수 있는 방법이다.

## 2.3 앵커 노드를 이용한 센서 위치 인식

앵커 노드를 이용한 센서 위치 인식 방법<sup>4-6)</sup>은 센서 네트워크의 센서 위치 인식 방법에서 가장 널리 연구되어 온 방법이다. 이는 위치를 모르고 있는 센서들 사이로 자신의 위치를 사전에 알고 있는 소수의 노드(앵커 노드)를 분포시켜 이 노드들이 자신의 위치를 주변 센서들에게로 전파하여 각 센서가 자신의 위치를 인식할 수 있게 한다.

이미 위치를 알고 있는 앵커 노드는 자신의 주변으로 자신의 위치를 무선 채널을 이용하여 발송하고 이를 수신한 노드들은 다시 자신의 주변으로 수신한 앵커의 위치를 재발송하여 네트워크 토폴로지를 구성한다. Fig. 1은 위치를 모르는 센서 노드 20개와 앵커 노드 4개로 구성된 토폴로지의 예이다. 각 센서는 이 토폴로지를 이용하여 Fig. 2에서 보이는 바와 같이 앵커의 위치와 앵커와 자신의 기하학적인 거리를 이용하여 자신의 위치를 분산 처리 방식으로 스스로 계산한다.

이 방법은 배치하는 앵커의 개수에 따라서 위치 인식의 정확도가 크게 달라지고 노드들 사이의 거리와 노드 사이의 각도 측정이 정확하지 않으면 정확도가 크게 떨어진다. 또, 앵커의 위치 정보가 멀티 홉으로 전송되면서 앵커와 자신의 거리 측정 오차가 누적되는 단점이 있다. 일반적으로 노드들 사이의 거리를 무선 채널을 통해서 정확하게 측정하기 위해서는 또

다른 하드웨어 장치(예를 들면 수신 전파 세기 측정 혹은 초음파 송수신 장치)가 필요하고<sup>11-14)</sup> 이는 센서의 가격을 올릴 수 있는 요인이 된다.

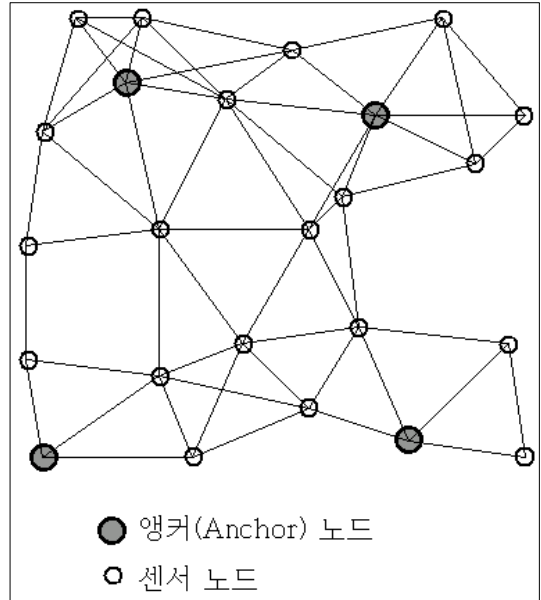


Fig. 1 Example of sensor network topology construction.

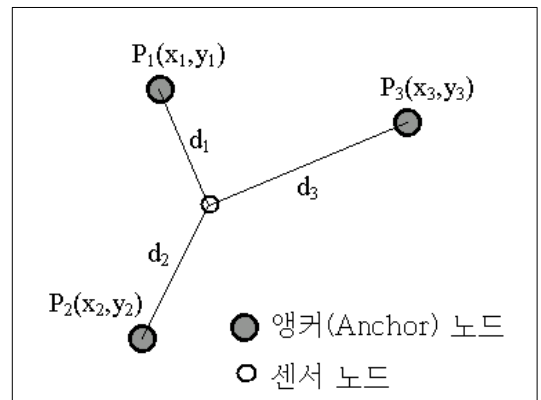


Fig. 2 General position estimation in geometry.

우리가 제안하는 이동성 로봇을 이용한 센서 위치 인식 기법은 위치를 알고 있는 로봇과 센서 사이의 거리를 측정하지 않고 무선 전파의 최대 전송 거리 정보만을 이용하여 센서의 정확한 위치를 측정한다.

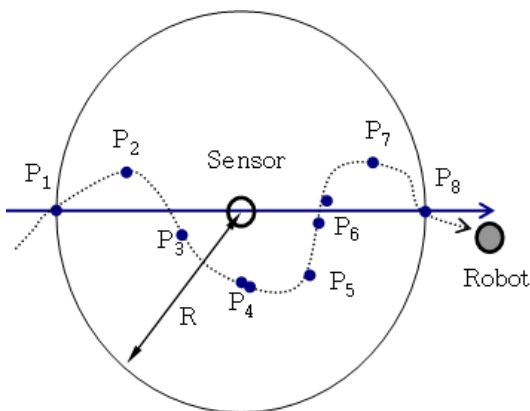
## 3. 이동성 로봇에 의한 센서 위치 인식 기법

제안하는 센서 위치 인식 기법이 적용되는 센서 네트워크의 특징은 다음과 같다. 센서가 배치될 때 랜덤한 방식으로 이루어져(예를 들

면 항공기에 의한 배치) 모든 센서는 분산 처리 방식으로 동작한다. 센서는 이동성이 없어서 초기에 배치되면 위치가 고정되어 위치 변경은 없다. 제안하는 기법은 표현의 편의를 위하여 2차 평면 환경을 가정하지만 3차 공간상으로 쉽게 확장할 수 있다. 실제 환경에서 장애물과 같은 요인에 의하여 무선의 전송 범위가 지역적인 거리에 정확하게 일치하지 않지만, 각 센서는 로봇이 정해진 무선 전송 범위 안에 오면 전송하는 메시지를 수신할 수 있다고 가정한다. 또, 이동하는 로봇은 위치 인식 시스템을 갖추고 있어서 이동 후의 정확한 위치를 항상 알고 있다고 가정한다.

### 3.1 센서 위치 추정 방법 제안

모바일 로봇은 정해진 이동 경로를 따라 움직이면서 주기적으로 자신의 현재 위치 정보를 담은 메시지를 전송한다. 로봇이 어떤 센서의 전파 수신 범위 내로 진입하면 그 때부터 로봇의 위치 정보가 그 센서로 수신하기 시작한다. 이 수신은 로봇이 센서의 전파 수신 범위를 벗어날 때까지 계속 된다. 그러면 센서는 로봇이 처음으로 자신에게 보내준 위치 정보와 마지막으로 보내준 위치 정보만 기억하고 나머지 연속된 위치 정보는 버린다.



---> Robot's actual mobility path

—> Sensor keeps only path line

R = Radio propagation range

$P_n$  = Nth received position from robot

Fig. 3 Received position keeping in a sensor node.

로봇은 위치 정보 메시지에 전송 일련번호를 포함하여 센서가 연속 수신된 위치 정보인지 아닌지를 구별할 수 있게 해준다. 또 메시지에 자신의 ID 번호를 포함하여 여러 개의 로봇이 투입되었을 때 로봇 별로 위치 정보를 구별하여 처리할 수 있게 한다.

센서 노드는 로봇이 항상 직선 운동만을 한다고 가정한다. Fig. 3과 같이 로봇이 곡선 형태의 이동을 하였고 그 동안 센서가  $P_1 \sim P_8$ 의 위치 데이터를 수신하였다면, 수신한 데이터 중에서 가장 먼저 수신한  $P_1$  위치와  $P_8$  위치만 저장하고 나머지는 저장하지 않는다. 그리하여 센서 노드는 로봇이  $P_1$  지점에서  $P_8$  지점을 연결한 선을 따라 직선 운동 하였다고 간주한다.

우리는 센서가 자신의 위치를 추정할 수 있도록 센서가 저장한 위치 정보의 개수에 따라 Fig. 4~7과 같이 4가지로 분류한다.

첫 번째, Fig. 4와 같이 센서가 수신한 위치 정보가 하나뿐인 경우 로봇으로부터 자신의 거리가  $P_1$ 로부터 무선 최대 전송 범위 R만큼 떨어져 있기 때문에 자신의 실제 위치는 수신한 위치를 중심으로 반지름이 R인 원주 상의 한 점이 될 것이다. 이 경우 센서의 추정 위치는

$$N(x, y) = P_1(x_1, y_1) \tag{1}$$

로 구하고, 실제 위치와의 오차는 R이 될 것이다.

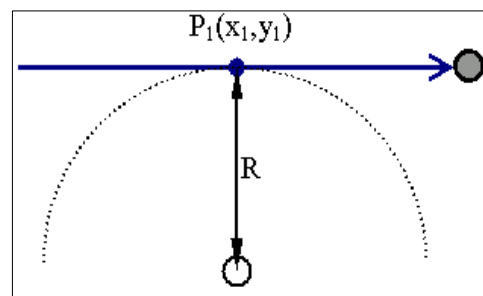


Fig. 4 Position estimation with one received position.

두 번째, Fig. 5와 같이 센서가 수신한 위치 정보가 둘인 경우이다.  $P_1, P_2$ 로부터 R만큼 떨어져 있는 점을 찾으면  $P_1, P_2$  사이의 거리가  $2R$ 인 경우를 제외하고는 항상 2개의 후보 점을 찾을 수 있게 된다. 우리는 이 경우에 두 후보를 택하지 않고 단순히 위치 평균값을 취하여

센서의 추정 위치를

$$N(x, y) = ((x_1 + x_2)/2, (y_1 + y_2)/2) \quad (2)$$

로 구하고, 실제 위치와의 오차 범위는 0~R이 될 것이다.

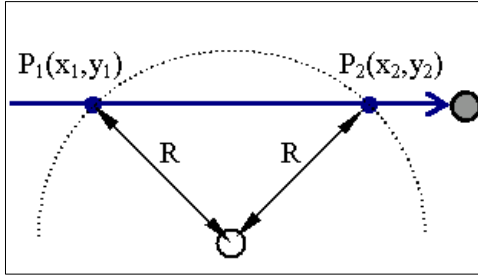


Fig. 5 Position estimation with two received position.

세 번째, Fig. 6과 같이 센서가 수신한 위치 정보가 셋인 경우 P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>으로부터 R만큼 떨어져 있는 한 점을 찾으려면 세 점이 일직선상에 있는 경우를 제외하고는 항상 하나의 점을 찾을 수 있다. 이 경우 실제 위치와의 오차는 계산상으로 0이 된다.

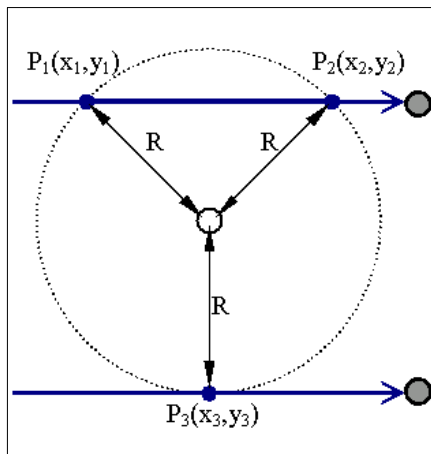


Fig. 6 Position estimation with three received position.

네 번째, Fig. 7과 같이 센서가 수신한 위치 정보가 넷 이상인 경우 P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>, P<sub>4</sub>로부터 R만큼 떨어져 있는 한 점을 찾으려면 되는데 이 경우 임의의 세 점을 선택하여 세 점으로부터 거리가 R 만큼 떨어진 한 점을 찾으려면 된다. 실제 위치와의 오차를 더욱 줄이기 위해 세 점으로 된 여러 선택의 조합을 만들어 그 조합들마다 거리가 R인 한 점을 찾아서 그 점들의 평

균값을 취하면 더욱 오차가 적은 점을 찾을 수 있다.

위의 세 번째와 네 번째 경우 실제 오차가 0이 되지는 않는데 그 이유는 로봇이 주기적으로 위치정보를 송신함으로 인하여 센서가 처음으로 수신하는 위치 정보 혹은 마지막으로 수신하는 위치 정보와 자신과의 거리가 정확히 R이 되지 않기 때문이다. 예를 들어 로봇이 1m/s로 이동한다면 로봇으로부터 수신하여 저장하는 위치 값은 R에서 0~1m 적은 값을 가지게 되고, 이 오차 값으로 인하여 기하학적으로 계산한 센서의 위치 값에 오차가 발생하게 된다.

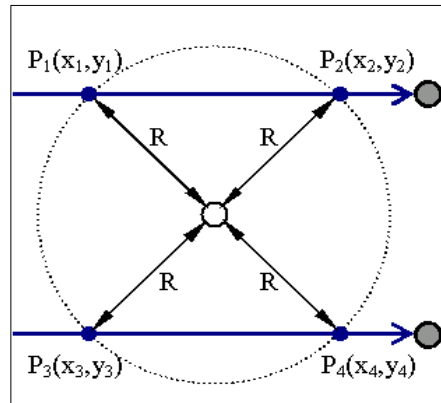


Fig. 7 Position estimation with more than four received position.

위의 세 번째 네 번째의 경우, Fig. 6과 7에서 보는 바와 같이 위치 정보 P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>으로부터 센서까지의 거리가 R로 동일하므로 센서의 위치 좌표, N(x, y)는 위의 공식을 이용하면 구할 수 있다

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

$$(x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 = R^2 \quad (3b)$$

$$(x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 = R^2 \quad (3c)$$

수식 (3a), (3b)와 (3a), (3c)로부터 센서의 추정 위치 N(x, y)를

$$x = \frac{Y_{13} \cdot (P_1^2 - P_3^2) - Y_{12} \cdot (P_1^2 - P_3^2)}{2(X_{12} \cdot Y_{13} - X_{13} \cdot Y_{12})} \quad (4a)$$

$$y = \frac{X_{13} \cdot (P_1^2 - P_3^2) - X_{12} \cdot (P_1^2 - P_3^2)}{2(X_{13} \cdot Y_{12} - X_{12} \cdot Y_{13})} \quad (4b)$$

로 구한다. 여기서  $P_i^2 = x_i^2 + y_i^2$  이고,  $X_{ij} = x_i - x_j$ ,  $Y_{ij} = y_i - y_j$ 이다.

자신의 현재 위치 정보를 담은 메시지를 전송한다. 이 경우 로봇의 이동 경로 설정은 센서의 위치 추정에 아주 중대한 영향을 미친다.

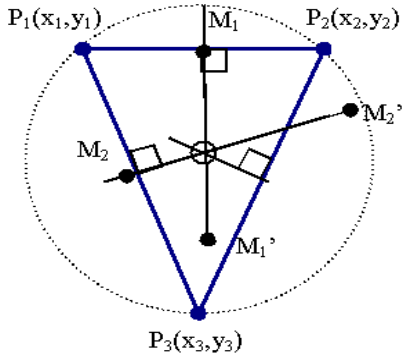


Fig. 8 Calculation sensor position with the metacenter.

또 센서의 추정 위치  $N(x, y)$ 는 삼각형 외접원의 외심을 구하는 문제와 같으므로 Fig. 8과 같이 위치  $P_1, P_2, P_3$ 을 연결한 삼각형에서 두 변의 수직 이등분선을 그어 만나는 점으로도 구할 수 있다.

Fig. 8에서 점  $P_1, P_2$ 의 중점  $M_1$ 과 점  $P_1, P_3$ 의 중점  $M_2$ 의 좌표는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$M_1 = ((x_1 + x_2)/2, (y_1 + y_2)/2) \quad (5a)$$

$$M_2 = ((x_1 + x_3)/2, (y_1 + y_3)/2) \quad (5a)$$

직교하는 수직 이등분선상의 점  $M_1'$ 과  $M_2'$ 의 좌표를 계산하기 위하여 점  $P_1$ 을 중심으로 하여  $P_2$ 와  $P_3$ 을  $90^\circ$  회전하면 다음의 수식을 얻을 수 있다.

$$M_1' = \left( \begin{array}{l} (x_1 + x_2)/2 + (y_1 - y_2), \\ (y_1 + y_2)/2 - (x_1 - x_2) \end{array} \right) \quad (6a)$$

$$M_2' = \left( \begin{array}{l} (x_1 + x_3)/2 + (y_1 - y_3), \\ (y_1 + y_3)/2 - (x_1 - x_3) \end{array} \right) \quad (6b)$$

위의 네 점을 모두 구하면 센서의 추정 위치  $N(x, y)$ 는  $M_1$ 과  $M_1'$ 을 잇는 선과  $M_2$ 와  $M_2'$ 를 잇는 선의 교점으로 쉽게 구할 수 있다.

### 3.2 로봇 이동 경로 제한

이동성 로봇은 정해진 이동 경로를 따라 움직이면서 일정한 주기마다(예를 들면 1초 간격)

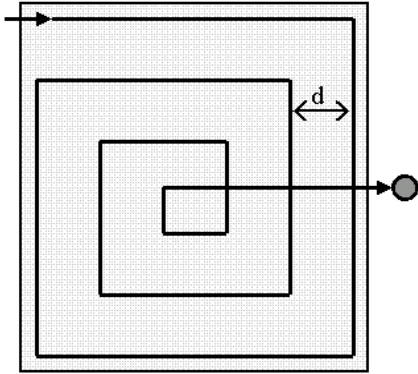


Fig. 9 Round-in mobility path.

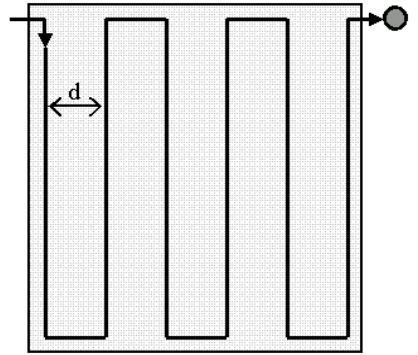


Fig. 10 Zigzag mobility path.

우리는 먼저 맵 영역 내에서 방향 전환이 있는 두 가지의 경로 설정 모델을 제시한다. 첫 번째로, Fig. 9와 같이 맵 영역의 외곽을 따라서 맵의 중심을 향해서 진행해 들어가는 라운드인(Round-in) 이동 경로 모델을 설정하고 두 번째로, Fig. 10과 같이 맵을 따라서 지그재그 형태로 진행해 나가는 지그재그(Zigzag) 이동 경로 모델을 설정하였다.

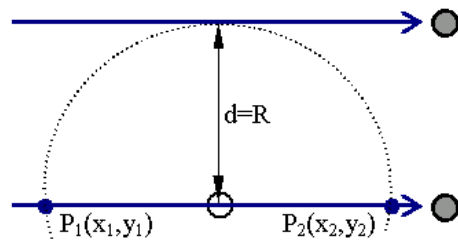


Fig. 11 Mobility gab setup( $d=R$ ).



이 두 이동 경로 모델에서 이동되는 경로 사이에 이동 간격(d)을 준다. 이동 간격(d)을 로봇의 무선 전파 전송 범위(R)로 두면 Fig. 11과 같이 이동 경로가 원주와 겹쳐서 위치를 수신하지 못하더라도 다음번 이동시 지나서  $P_1$ ,  $P_2$  연장선이 센서의 위치를 지나게 된다. 따라서 수식 (2)를 이용하여 센서의 위치를 구하면,  $P_1$ ,  $P_2$ 의 중점은 센서의 위치와 일치 하므로 위치 추정 오류가 나타나지 않는다.

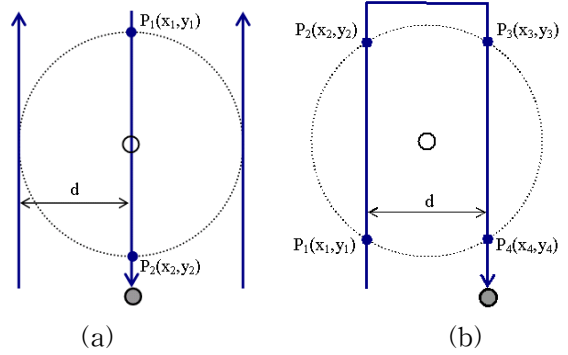


Fig. 13 Method to prevent position error.

이상의 분석으로 우리는 Fig. 12에서와 같은 이동 경로로 인한 위치 인식 오류가 발생하지 않도록 수정된 이동 경로 모델을 제시한다. 개선의 요점은 Fig. 12에서 보이는 방향 전환을 맵 영역 내에서 제거하는 것이다. 그러면 어떠한 경우에도 센서는 다음 Fig. 13과 같이 두 개 혹은 네 개의 위치 정보를 가지게 되어 정확하게 센서의 위치를 알 수 있게 된다. 라운드인 이동 경로 모델은 맵 내의 방향 전환을 제거하기 어렵지만 지그재그 이동 경로 모델은 쉽게 맵 내의 방향 전환을 제거할 수 있다. Fig. 14는 개선된 지그재그 이동 경로 모델을 보여 주고 있다.

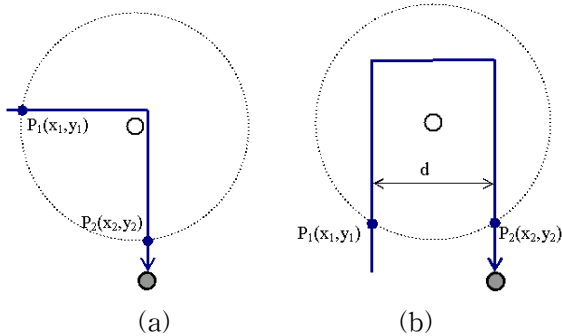


Fig. 12 Example of position error.

위의 두 이동 경로 모델은 특정 영역에서 노드의 위치인식 오류를 보일 수 있는데 이는 센서가 자신의 위치를 계산하는 과정에서 로봇은 항상 직선 운동을 한다는 가정을 위의 두 모델 모두 어기고 있기 때문이다.

Fig. 12는 센서 노드 위치 인식 오류가 나타날 수 있는 이동 경로의 예를 보여 주고 있다. Fig. 12(a)에서 모바일 로봇이 센서가 분포된 맵 영역 내에서 방향 전환을 하여서 일부 노드는  $P_1$ ,  $P_2$ 의 연장선을 따라 로봇이 이동하였다고 간주한다.

만약 이 노드가 더 이상의 위치 정보를 얻지 못하면  $P_1$ ,  $P_2$ 의 중점을 자신의 위치로 인식하는 오류를 일으킨다. 라운드인 이동 경로 모델의 방향 전환 부분에서 일어나는 현상이다. Fig. 12(b)는 라운드인 이동 경로 모델의 맵 중앙 부분과 지그재그 이동 경로 모델의 경우 맵 상단과 하단의 방향 전환 부분에서 발생할 수 있는 오류이다.

이 경우에도 노드는  $P_1$ ,  $P_2$ 의 연장선을 따라 로봇이 이동하였다고 간주하고 더 이상의 위치 정보를 얻지 못하면  $P_1$ ,  $P_2$ 의 중점을 자신의 위치로 인식하는 오류를 일으킨다.

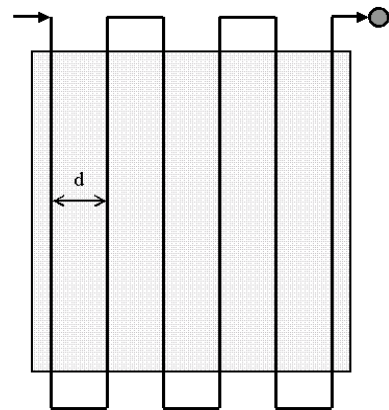


Fig. 14 Advanced zigzag path mobility model.

#### 4. 모의실험

제안한 방법의 타당성을 증명하기 위해 모의 실험을 실시하였다. 실험을 위해서 100x100 m<sup>2</sup> 영역에 100개의 노드를 랜덤한 방식으로 배치하였다. 제안한 방법에 사용된 실험 변수는 Table 1과 같이 하였다.

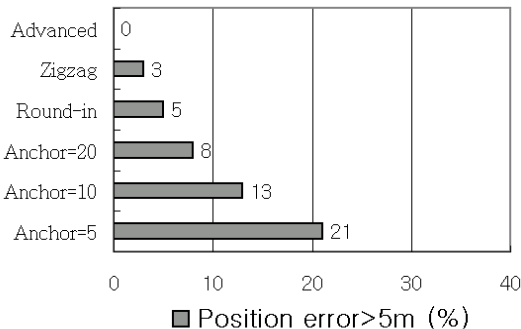
**Table 1. Simulation parameter for position estimation with mobile robot**

이동 속도	1 m/sec
위치 방송	1 초 간격
전파 범위 (R)	20 m
이동 간격 (d)	20 m

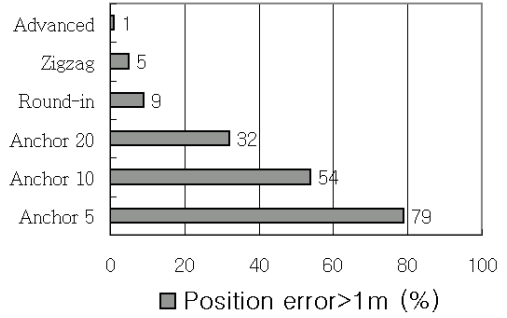
우리는 기존의 센서 네트워크에서 위치 설정 방법으로 많이 사용되고 있는 앵커 노드를 이용한 위치 설정 방식과 제안한 방법을 비교하였다. 앵커 노드를 이용한 위치 설정 방법은 앵커의 수가 실험 결과에 크게 영향을 미치므로 앵커의 수를 5, 10, 20으로 달리하면서 실험을 진행하였다. 실험에서 앵커의 수가 5, 10, 20인 경우와 라운드인 이동 경로 모델, 지그재그 이동 경로 모델, 개선된 지그재그 이동 경로 모델의 센서 위치 설정 이후의 오차를 비교하였다. Fig. 15는 오차가 5m 이상인 노드의 비율, Fig. 16은 오차 1m 이상인 노드의 비율이고 Fig. 17은 노드의 위치 오류 평균값을 보여 준다. 그림에서 볼 수 있듯이 우리가 제안하는 방법은 기존의 앵커를 이용하는 방법보다 훨씬 적은 오차를 보였으며 그 중에서도 개선된 지그재그 이동 경로 모델이 가장 좋은 성능을 보였다.

다음으로 위치 설정 완료시까지의 각 노드의 메시지 전송 횟수와 수신 횟수를 측정하였는데 메시지 전송/수신은 노드의 에너지 소모량에 직접적으로 영향을 미친다. Fig. 18은 노드의 평균 메시지 전송 횟수를, Fig. 19는 수신 횟수를 보여준다.

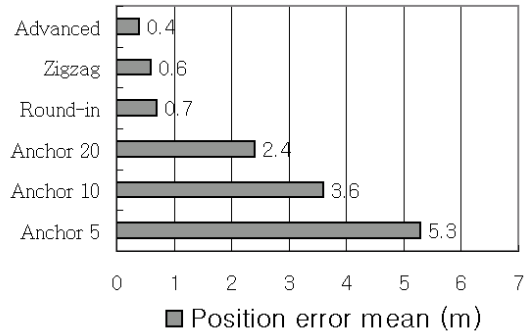
실험을 통해서 우리가 제안하는 방법은 기존의 앵커를 이용하는 방법보다 훨씬 많은 수신 메시지를 기록하고 있으나 송신 메시지는 없음을 알 수 있다. 종합적으로 노드의 에너지 소모 측면에서는 우리가 제시하는 방법이 에너지를 조금 더 소모함을 알 수 있다.



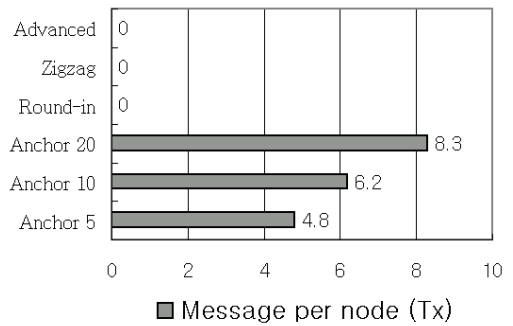
**Fig. 15 Ratio of node position error is more than 5m.**



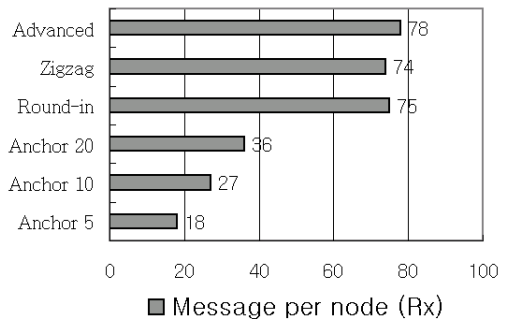
**Fig. 16 Ratio of node position error is more than 1m.**



**Fig 17 Position error per node**



**Fig. 18 Count of transmitted message per node**



**Fig. 19 Count of received message per node**

우리가 제시한 방법은 로봇이 전체 영역을 이동하여야 하므로 모든 센서들이 위치 추정을 마칠 때까지의 시간이 훨씬 길 수 밖에 없다.



실험에서는 약 10분 정도 소요되었으며 앵커를 이용하는 방법에서는 수초 안에 모든 센서들이 위치 추정을 마쳤다.

#### 4. 결 론

본 논문에서 우리는 센서 네트워크에서 이동성 로봇을 이용한 새로운 센서 위치 인식 기법을 제안하였다. 기존의 방법에서는 GPS를 이용하거나 앵커 노드를 이용하여 센서에 위치 정보를 제공하였다. 기존의 방법은 센서 가격이 비싸지거나 센서 위치 정보가 부정확한 단점이 있었다. 우리는 이러한 단점을 보완하여 센서의 단가를 저렴하게 하면서도 정확한 위치 추정을 하기 위하여 모바일 로봇을 센서 네트워크 영역에 투입하였다. 로봇은 센서 영역을 이동하면서 자신의 위치를 주기적으로 송신하면 이를 수신한 센서가 위치를 정확하게 추정할 수 있는 기법이다. 또, 우리는 센서의 위치 추정을 정확하게 할 수 있는 로봇 이동 경로 모델도 제시하였다.

모의실험 결과 우리가 제안하는 방법이 기존의 앵커를 이용하는 방법보다 훨씬 정확하게 위치를 추정하는 것을 확인하였다. 그러나 에너지 측면과 센서 위치 추정 완료 시간은 기존의 방식에 비해 불리한 것으로 나타났다. 센서 네트워크는 센서가 배치되고 난 이후 수개월에서 수년간 동작되어야 하는 조건에서는 충분히 경쟁력이 있다.

#### 참 고 문 헌

- 1) K. Langendoen, and N. Reijers "Distributed localization in wireless sensor networks: a quantitative comparison," *Elsevier Com. Net.*, vol. 43 pp. 499-518, 2003.
- 2) N. Patwari, J. N. Ash, S. Kyperountas, A. O. Hero III, R. L. Moses, and N. S. Correal "Locating the Nodes Cooperative localization in wireless sensor networks," *IEEE Sig. Proc. Mag.*, pp. 54-69, July. 2005.
- 3) J. Werb and C. Lanzl, "Designing a positioning system for finding things and people indoors," *IEEE Spectr.*, vol. 35, no. 9, pp. 71-78, Sept. 1998.
- 4) D. Niculescu, B. Nath, "Ad-hoc positioning system," *IEEE GlobeCom*, 2001.
- 5) C. Savarese, K. Langendoen, J. Rabaey, "Robust positioning algorithms for distributed ad-hoc wireless sensor networks," *USENIX Technical Annual Conference*, Monterey, CA, pp. 317-328, 2002.
- 6) A. Savvides, H. Park, M. Srivastava, "The bits and flops of the N-hop multilateration primitive for node localization problems," *First ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Application (WSNA)*, Atlanta, GA, pp. 112-121, 2002.
- 7) S. Atiya, G. Hager, "Real-time vision-based robot localization," *IEEE Trans. Robot. Automat.* 9 (6) pp. 785-800, 1993.
- 8) J. Leonard, H. Durrant-Whyte, "Mobile robot localization by tracking geometric beacons," *IEEE Trans. Robot. Automat.* 7 pp. 376-382, Mar 1991.
- 9) R. Tinos, L. Navarro-Serment, C. Paredis, "Fault tolerant localization for teams of distributed robots," *IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems*, vol. 2, Maui, HI, pp. 1061-1066, 2001.
- 10) <http://myhome.shinbiro.com/~philmap/gps.html>
- 11) N. Bulusu, J. Heidemann, D. Estrin, "GPS-less low-cost outdoor localization for very small devices," *IEEE Person. Commun.* 7 Pages: 2834. May 2000.

---

(2007년 1월 8일 접수, 2007년 5월 23일 채택)