

# 거리 데이터 신뢰도 정보 기반 위치 검출 알고리즘

## Positioning Algorithm Based on the Information of Range-Data Reliability

구인수\*      차순룡\*\*      김은찬\*\*\*      최성수\*\*\*\*  
Insoo Koo      Cong Tran Xuan      Eunchan Kim      Sungsoo Choi

### 요약

무선 센서 네트워크에서, 추가적인 하드웨어를 사용하지 않고 이동센서노드의 위치를 검출하는 가장 일반적인 방법들 중의 하나가 수신 신호 세기를 기반으로 하는 위치 검출기법이다. 하지만, 노드 사이의 물리적인 무선 채널 특성에 따라 수신 신호의 세기가 다양하게 측정됨으로 신호의 세기를 이용하여 구한 두 노드간의 거리 데이터는 많은 오차를 포함하게 된다. 더 나아가 이를 이용하여 위치 검출을 수행할 경우 위치 추정 오차가 발생된다. 따라서 이러한 문제를 극복하여, 제한된 시스템 자원 내에서 노드의 위치 검출의 정확도를 개선시키는 방법이 필요하다. 이에 본 논문에서는 수신 신호 세기 기반의 거리 측정 방법의 단점을 극복하기 위해, 거리 데이터 신뢰도 정보를 활용하는 위치 검출 알고리즘을 제안한다. 시뮬레이션을 통하여 제안된 알고리즘이 기본 알고리즘보다 약 30%정도의 성능 향상을 제공할 수 있음을 보인다.

### Abstract

In wireless sensor networks, one of most common location detection methods that do not require additional devices such as GPS and ultrasonic sensor, is the location detection method based on received signal strength. However, measured received signal strength will fluctuate over time mainly due to physical radio channel characteristics between nodes, which subsequently will cause errors to measured distance between nodes. Since these contaminated distance data are utilized to detect the location of unknown node, there will be accumulated errors in the location of unknown node. In order to overcome the limitation of the location detection method based on received signal strength, we propose a location scheme in which reliability information of distance data as well as distance data between nodes are utilized to estimate the location of unknown node. Through simulation, it is shown that the proposed scheme can accomplish 30% capacity improvement.

KEYWORD : Wireless sensor networks, location detection, distance between nodes, reliability information of distance data, 무선 센서 네트워크, 위치 검출, 노드간 거리 데이터, 거리 데이터 신뢰도 정보

## 1. 서론

최근 급격하게 발전하고 있는 유·무선 통신 기술로 인해 거의 모든 정보를 보다 쉬운 방법으로 제공하고 효율적인 정보 교환이 가능하게 되었다. 그 결과 인간간의 정보 교환, 인간과 컴퓨

터간 정보 교환의 범주를 뛰어넘어 주변에 존재하는 동·식물을 포함하여 건축물과 같은 사물에 개까지 네트워크화가 가능한 유비쿼터스 사회를 건설하는 데 중추적 역할을 하게 되었다. 이러한 정보통신 사회의 발달에 힘입어 모든 사물을 네트워크에 연결하기 위해 “무선 센서 네트워크”(Wireless Sensor Network)란 개념의 통신 기술이 부상하게 되었다. 무선 센서 네트워크는 생명, 환경 공학에 기반을 둔 센서 활용 기술을 비롯하여 무선 통신 네트워크를 위한 통신 및 컴퓨터 기술, 이를 소형화하는 System on Chip (SoC) 기술이 유기적으로 결합된 융합기술로서 다수의 소형 센서 노드를 이용하여 네트워크를 구성하고, 센서

\* 정 회 원 : 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 부교수  
iskoo@ulsan.ac.kr(교신저자)

\*\* 준 회 원 : 울산대학교 전기전자정보시스템공학부  
석사과정 txuancong@yahoo.com

\*\*\* 정 회 원 : 광주과학기술원 정보통신공학과 박사과정  
tokec@gist.ac.kr

\*\*\*\* 정 회 원 : 한국전기연구원 융합기술연구단 팀장  
sschoi@keri.re.kr

[2008/03/26 투고 - 2008/04/03 심사 - 2008/05/15 심사완료]

노드는 센서로부터 발생한 데이터를 무선 통신과 다중홉 네트워크를 통하여 정보를 원하는 센터에게 전송하는 네트워크를 말한다. 이처럼 구성된 무선 센서 네트워크는 유비쿼터스 네트워크 기반 구축의 핵심기술 중 하나로, 환경 감시나 대중교통 정보 관리, 대규모 건축물 감시, 목표물 관리 및 추적 등의 다양한 응용분야에 적용될 수 있다 [1,2].

무선센서네트워크에서 중요한 연구 분야들 중의 하나는 임의로 배치된 센서 노드들의 위치 파악에 관한 연구이다. 이는 이벤트나 이상 현상을 발견한 센서 노드가 센싱 데이터를 발생하여 다중홉을 거쳐 네트워크 관리자에게 전달하였다 하더라도 그 위치를 모르는 상황이라면 적절한 대처를 할 수 없기 때문이다. 현재 사용되고 있는 위치검출 시스템의 중요한 관점은 정밀도와 정확도, 측정 규모, 비용 등이며, 위치검출시스템의 종류로는 GPS, Active Badges, Active Bats, MotionStar, RADAR 등이 있다[3,4]. 하지만 이러한 시스템은 센서노드의 위치정보를 얻기 위해 추가적으로 센서 노드에 초음파 송수신기나 GPS 장치 등을 사용하는 것으로 센서 노드의 비용을 증가시킴으로서, 무선 센서 네트워크의 현재 흐름에 어긋난다[5]. 따라서 시스템 자원의 제한된 범주에서 노드의 위치 검출의 정확도를 개선시키는 방법이 더 바람직하다 할 수 있다.

추가적인 하드웨어를 사용하지 않고 센서노드의 위치를 구하는 방법으로 사용되는 가장 일반적인 방법들 중의 하나는 수신 RF 신호 세기를 이용하여 센서노드들 간의 거리를 측정하는 수신 신호 세기 기반 위치 검출기법이다. RF 신호 세기를 이용하여 센서 노드간의 거리를 추정하기 위해서는 거리에 따른 신호 세기의 감쇄가 항상 일정해야 한다는 전제가 있다. 하지만 실제 RF 신호는 실내의 다중 경로 페이딩 환경이나, 주파수 간섭, 안테나 방향성 이득 등을 비롯한 물리적인 RF 모듈의 특성에 따라 수신 신호의 세기가 다양하게 측정되어, 신호의 세기를 이용하여 구한

두 무선 노드간의 거리 데이터는 많은 오차를 포함하게 되며, 이를 극복하기 위한 적절한 보정 방법이 필요하다. 이에 본 논문에서는 수신 RF 신호 세기 기반의 거리 측정 방법의 단점을 극복하기 위해, 거리 데이터 신뢰도 정보를 활용하는 위치 검출 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 기존 RF 신호 세기 기반 위치 검출 방식과 동일하게 노드간의 거리 데이터를 수신 RF 신호 세기를 기반으로 측정하지만, 더 정확한 노드간의 거리 데이터를 얻기 위해 수신 RF 신호를 여러 번 측정하고, 측정된 RF 신호 세기를 기반으로 다중의 거리 데이터를 획득한다. 이후, 획득된 다중 데이터로부터 각 센서노드간의 대표 거리 데이터를 구하고, 대표 거리 데이터의 신뢰도 정도를 측정하기 위해 신뢰도 평가 지표를 도출한다. 이후, 측정된 대표 거리 데이터와 대표 거리 데이터의 신뢰도 평가정보를 함께 위치 추정이 이루어지는 싱크노드로 전송하고, 싱크노드에서는 각 노드간의 거리데이터 및 그 신뢰도 정보를 이용하여 각 센서 노드들의 상대적 위치를 구하게 된다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 먼저 2장에서는 본 논문에서 고려하고 있는 전체 시스템 구조를 설명하고, 수신 RF 신호 세기를 기반의 거리 측정 방법 및 측정된 노드간 거리 측정 데이터를 이용한 위치 검출 방법에 대해 기술한다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 거리 데이터 신뢰도 정보를 활용한 위치 검출 알고리즘을 기술하고, 4장에서는 제안된 알고리즘의 성능 평가를 위한 시뮬레이션 환경 및 시뮬레이션 결과를 기술한다. 그리고 5장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

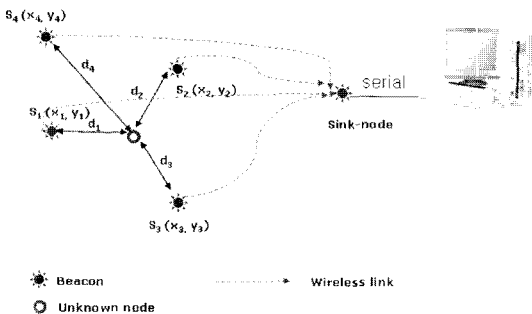
## 2. 전체 시스템 구조

본 논문에서 고려하는 무선센서네트워크는 위치 정보를 질의하는 이동성이 없는 다수의 비콘(beacon) 노드와 이동성을 가지고 수시로 위치를 변경하는 다수의 이동 센서 노드(unknown node)

로 구성된다. 여기서 비콘 노드는 이동 센서 노드보다 컴퓨팅 자원이 풍부한 장치로 가정하며, 비콘 노드는 단계적으로 송신 신호 강도를 높여가면서 이동 센서 노드들과의 연결을 시도한다. 만약 연결되면 센서의 송수신 신호의 강도를 이용하여 노드간 거리를 측정하고 측정된 거리 데이터를 싱크(sink)노드로 전송한다. 싱크 노드는 시리얼 방식과 같은 인터페이스를 통하여 오류환경을 극복할 수 있는 무선위치 인식 프로세서 엔진이 탑재된 PC로 연결되며 PC는 싱크 노드에서 구현된 알고리즘을 통하여 PC의 모니터로 위치 인식 결과를 보여주거나 또는 싱크 노드를 통하여 수집된 데이터를 받아 이를 위치 검출 알고리즘으로 분석하고 그 결과를 보여주게 된다. 그림 1은 본 연구에서 고려된 전체 시스템 구조를 보여 준다. 따라서 이동 센서 노드들의 절대적 위치를 검출하기 위해서는 크게 수신 신호 세기를 기반으로 한 노드간 거리 측정 단계와 측정된 노드간 거리 측정 데이터를 이용한 싱크 노드에서의 위치 검출 단계로 나누어진다.

### 2.1 수신 신호 세기를 기반으로 한 노드간 거리 측정

신호 세기를 이용한 거리 측정 방법은 패킷을 수신한 노드가 수신 신호를 일정 시간 혹은 일정량의 패킷을 수신한 후, 통계적 처리 기법을 이용하여 송신 노드까지의 거리를 예측하는 기법이다.



(그림 1) 고려된 시스템 모델

일반적으로 사용하는 신호 감소 모델은 아래 수식과 같이 주어진다[6].

$$\overline{P}(d) = P_0 - 10n_b \log\left(\frac{d}{d_0}\right) \quad \text{수식 (1)}$$

여기서  $P_0$ 는 단위 거리( $d_0$ )에서 수신한 신호의 세기 (dBm)이며,  $n_b$ 는 전파 환경에 따라 주어지는 상수 값이다. 위 식에 따르면, 수신 신호는 거리  $d^{-n_b}$ 에 따라 감소되고 수신한 신호의 세기의 평균값인  $\overline{P}(d)$ 을 구하여 거리  $d$ 를 구할 수 있다. 신호의 세기를 이용한 제품으로는 Wireless LAN환경에서 TAG나 PDA 혹은 노트북의 위치를 알려주는 Ekahau사의 제품을 예로 들 수 있다. Ekahau 제품은 옥내/외에 설치된 AP (Access Pointer)의 위치 정보를 기반으로 일정 주기 단위로 주변에 위치한 대상물의 위치를 알려주는 기능을 제공하고 있다[7]. 신호 세기를 이용한 거리 파악은 저가로 구현하기가 용이한 반면, 실내의 다중 경로 페이딩 환경이나, 주파수 간섭, 안테나를 비롯한 물리적인 RF 모듈의 특성에 따라 수신 신호의 세기가 다양하게 측정되어 거리 정보의 정확도가 상당히 낮은 단점을 갖고 있다.

### 2.2 측정된 노드간 거리 측정 데이터를 이용한 위치 검출

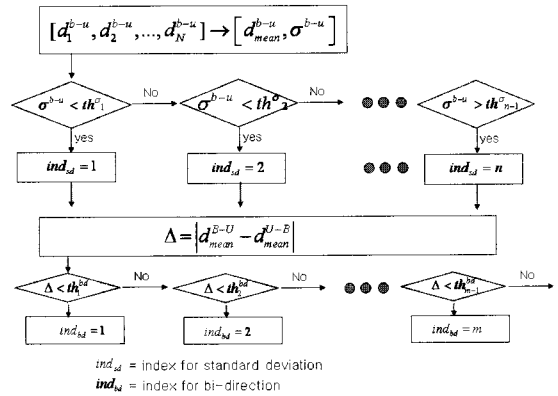
측정 거리 정보를 이용하여 노드들의 위치정보를 계산하는 위치검출 기술은 주로 2가지 수학적 해석 방법을 사용한다. 하나는 삼각측량기법 (Triangulation)이며, 다른 하나는 MDS (multidimensional scaling) 기법이다. 2차원 평면 공간에서 삼각측량기법은 3개 이상의 비콘 노드로부터 한 노드까지의 거리를 반지름으로 하여 비콘 노드에서 원을 그린 후, 3개의 원이 교차하는 지점에 노드의 위치를 검출하는 기법이다. 삼각측량 기법에 비해 MDS는 노드의 위치검출을 위해 모든 연결 가능한 노드들의 거리정보를 활용하여

노드간의 상대적 좌표 값을 계산한다. 노드들의 수가 많고 노드간의 모든 거리정보가 주어졌을 때, MDS를 적용으로 오차 값이 크게 개선된 좌표 값을 얻을 수 있다. 하지만 임의의 노드가 나머지 노드와의 거리정보를 모두 가지고 있어야 MDS를 적용할 수 있다. 이는 실제 센서 네트워크 환경에서 노드간 거리 정보는 노드끼리 송수신한 패킷을 이용하여 측정하기 때문에 직접 통신이 가능한 범위 내에 존재하는 인접 노드사이의 거리만을 측정할 수 있다. 결과적으로 다중 홉 연결을 갖는 센서 네트워크에 분포된 모든 노드간의 거리정보를 확보할 수 없어 MDS 적용에 어려움이 있다. 이에 본 연구에서는 측정된 노드간 거리 측정 데이터를 이용하여 위치 검출을 위한 기법으로 삼각측량기법(Triangulation)을 이용한다.

### 3. 거리 데이터 신뢰도 정보를 활용한 위치 검출 알고리즘

#### 3.1 노드간 거리 데이터 신뢰도 분석

그림 2는 제안된 노드간 거리 데이터 신뢰도 분석 과정을 보여 준다. 먼저 노드간의 거리 측정은 2.1절에서 같이 두 노드간의 경로손실 및 거리와의 관계를 이용한다. 이를 위해 비콘 노드는 이동노드에게 거리측정질의메시지를 보내고, 이를 수신한 이동노드는 응답메시지를 비콘 노드에게 송신한다. 이때 각 메시지에 송신 노드의 송신 전력 정보를 담고 있어, 메시지를 수신하는 노드는 수신 전력 정보를 물리계층으로부터 받아 볼 수 있기 때문에 두 노드 사이의 경로 손실을 구할 수 있고 이를 이용하여 노드간 거리를 측정하게 된다. 이때 더 정확한 노드간의 거리 데이터를 얻기 위해 비콘 노드는 특정 이동 센서 노드에게 N번의 거리측정질의메시지를 송출하여 N번 걸쳐 거리데이터를 측정하게 된다. 이후 측정된 N개의 노드간 거리 데이터들( $d_1^{b-u}, d_2^{b-u}, \dots, d_N^{b-u}$ )



(그림 2). 제안된 노드간 거리 데이터 신뢰도 분석 과정

의 평균값 ( $d_{mean}^{b-u}$ )과 표준편차( $\sigma^{b-u}$ )를 산출한다. 여기서 구한 평균값은 비콘 노드에서 이동 센서 노드간의 대표거리 정보로 이용하고, 표준편차는 대표 정보의 측정 신뢰도를 반영하는 값을 구할 때 사용된다. 제안된 알고리즘에서는 표준편차 지수,  $ind_{sd}$ 을 정의하여 표준 편차가 커질 때 마다 그림 2와 같이 표준편차 지수를 단위 상수 파라미터에 따라 증가시키고 표준 편차가 주어진 최대 임계값 보다 큰 경우에는 표준편차 지수를 특정 단위 상수로 정한다. 이는 측정된 노드간 거리 데이터의 표준편차가 작을수록 높은 데이터 측정 신뢰도를 가지게 되기 때문이다.

이렇게 구해진 평균값과 표준편차 지수는 양방향성 검사에 사용된다. 양방향성 검사는 각각 비콘 노드와 이동 센서 노드간의 양방향 데이터 차이를 보기 위한 것으로 장치의 송수신 안테나 이상이나 갑작스러운 공간적 영향 등을 살피기 위한 것이다. 즉 비콘 노드와 이동센서노드가 측정 한 거리 데이터의 평균값의 차,  $\Delta = |d_{mean}^{b-u} - d_{mean}^{u-b}|$ 을 구하여 이 값이 큰 경우에는 양방향 데이터의 불균형이 심하므로 해당 통신 경로의 데이터에 대한 신뢰도가 떨어진다고 볼 수 있다. 이에 본 논문에서는 그림 2와 같이 양방향 지수  $ind_{bd}$ 을 정의하여 양방향 데이터의 불균형이 커질 때 마다 양방향 지수를 단위 상수

파라미터에 따라 증가시키고 양방향 데이터의 불균형이 주어진 최대 임계값 보다 큰 경우에는 표준편차 지수를 특정 단위 상수로 정한다. 이후 양방향 지수는 앞서 구한 표준편차 지수와 같이 특정 비콘 노드와 이동센서노드간의 거리 데이터의 신뢰도 정보에 사용된다. 분석된 노드간 거리 데이터 신뢰도 정보는 거리 데이터 정보와 함께 싱크 노드로 전송되어 지고 다음 절에서 기술된 위치 검출 알고리즘에 의해 이동센서노드의 위치를 결정하는데 이용된다.

### 3.2 노드간 거리 데이터 및 신뢰도 정보를 이용한 위치 검출 알고리즘

본 논문에서 제안하는 위치 검출 알고리즘은 기존의 알고리즘들과 같이 노드간의 거리 데이터 및 삼각측정법을 이용하여 이동 센서 노드 절대적 위치를 구하게 되지만, 추가로 노드간의 거리 데이터 신뢰도 정보를 이용하여 이동 센서 노드의 위치 검출의 정확도를 향상 시킨다.

삼각측정법을 2차원 평면상에서 이동하는 센서 노드의 위치를 측정하기 위해 최소 3개 이상의 비콘 노드로부터 이동센서노드까지의 노드간 거리 정보가 필요하다. 이동센서노드의 절대위치를  $(x, y)$ 으로, 비콘 노드의 수를  $P$ 으로 표현하면, 이동센서노드와 각 비콘 노드상의 거리는 다음 수식에 의해 주어진다.

$$d_i = \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2}, \quad \text{여기서 } i=1, \dots, P \quad \text{수식 (2)}$$

수식 (2)을 제공하면 수식 (3)을 얻을 수 있다.

$$d_i^2 = (x-x_i)^2 + (y-y_i)^2 \quad \text{수식 (3)}$$

$i=1$ 을 대입한 수식 (2)을 수식 (3)으로 빼면 수식 (4)을 얻을 수 있다.

$$2x(x_1-x_i) + 2y(y_1-y_i) = x_1^2 + y_1^2 - x_i^2 - y_i^2 - d_1^2 + d_i^2$$

여기서  $i=2, \dots, P$

수식 (4)을 행렬 형태로 표현하며,

$$A\theta = B \quad \text{수식 (5)}$$

여기서

$$A = \begin{bmatrix} (x_1-x_2) & (y_1-y_2) \\ (x_1-x_3) & (y_1-y_3) \\ \dots & \dots \\ (x_1-x_N) & (y_1-y_N) \end{bmatrix} \quad \text{수식 (6)}$$

$$B = \begin{bmatrix} x_1^2 + y_1^2 - x_2^2 - y_2^2 - d_1^2 + d_2^2 \\ x_1^2 + y_1^2 - x_3^2 - y_3^2 - d_1^2 + d_3^2 \\ \dots \\ x_1^2 + y_1^2 - x_N^2 - y_N^2 - d_1^2 + d_N^2 \end{bmatrix} \quad \text{수식 (7)}$$

$$\theta = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad \text{수식 (8)}$$

측정된 비콘 노드와 이동센서노드간의 거리 데이터 오차가 존재하는 환경에서, 이동센서노드의 절대적 위치를 추정하기 위해, 본 논문에서는 표준 least squares (LS) 추정 방법을 이용한다. 이 방법은 수식 (5)에서 측정을 통한 벡터  $B$ 와 추정된 값  $A\theta$ 사이를 차를  $\Delta$ 로 정의할 때, 다음과 같은 목적함수,  $D$ 를 최소화 하도록  $\theta$ 를 결정한다[8, 9].

$$D = \Delta^T \Delta = (B - A\theta)^T (B - A\theta) \quad \text{수식 (9)}$$

목적함수  $D$ 를 최소화 시키는 최적의 해는 다음 수식과 같이 주어진다.

$$\hat{\theta}_{ls} = (A^T A)^{-1} A^T B \quad \text{수식 (10)}$$

이때, 이동 센서 노드에 위치 검출에 참여한 비콘 노드  $i$ 가 이동 센서 노드와 갖는 거리 데이터의 신뢰도 정보, 즉 표준편차 지수와 양방향 지수를 각각  $ind_{s,d,i}$ 과  $ind_{bd,i}$ 라고 하고, 이동 센서

노드 위치 검출에 참여한 비콘 노드의 수를  $P$  이라고 하면, 수식 (10)을 통해 계산된 이동 센서 노드의 절대 위치에 대한 신뢰도 지수,  $ind_{reliability}$  은 아래와 같이 주어 질 수 있다.

$$ind_{reliability} = \sum_{i=1}^P (ind_{sd,i} + \beta \cdot ind_{bd,i})$$

수식 (11)

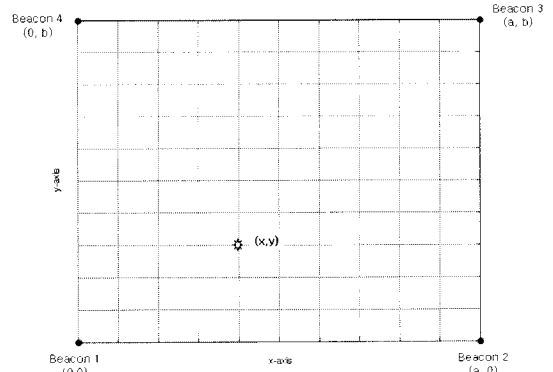
여기서  $\beta$ 는 양방향 지수가 표준편차 지수 대비 전체 신뢰도 값에 대해 갖는 가중치 값이 된다. 본 논문에서는  $\beta$ 값을 1로 설정하였다.

싱크 노드로 특정 이동센서노드와의 거리 데이터 및 신뢰도 정보를 전송해 온 비콘 노드의 개수를  $Q$ , 한 그룹 내에서 위치 검출에 필요한 비콘의 수를  $P$ 이라면,  $C_P^Q = \binom{Q}{P} = \frac{Q!}{(Q-P)!P!}$  개의 위치 추정 그룹이 존재하고 각 그룹별로 수식 (10)과 (11)를 이용하여 이동센서노드의 위치 추정 및 추정된 위치 정보의 신뢰도 정도를 찾아낸다. 이후 각 그룹별 추정된 위치 정보의 신뢰도 지수가 작을수록, 추정된 위치 정보에 더 높은 신뢰도를 줄 수 있으므로 낮은 신뢰도 지수를 갖는 추정 위치 값에 더 많은 가중치를 주는 방법으로 최종적인 이동 센서 노드의 위치를 결정한다. 예로 두 위치 측정 그룹의 신뢰도 지수가  $ind_{reliability,1}$  과  $ind_{reliability,2}$  이고, 이동센서노드의 추정 위치 값을 각각  $(x_{e,1}, y_{e,1})$  과  $(x_{e,2}, y_{e,2})$  라면, 최종적인 이동센서노드의 위치,  $(x_{e,2}, y_{e,2})$  는 다음 수식에 의해 결정한다.

$$x_e = \frac{x_{e,1} \cdot ind_{reliability,2} + x_{e,2} \cdot ind_{reliability,1}}{ind_{reliability,1} + ind_{reliability,2}}$$

$$y_e = \frac{y_{e,1} \cdot ind_{reliability,2} + y_{e,2} \cdot ind_{reliability,1}}{ind_{reliability,1} + ind_{reliability,2}}$$

수식 (12)

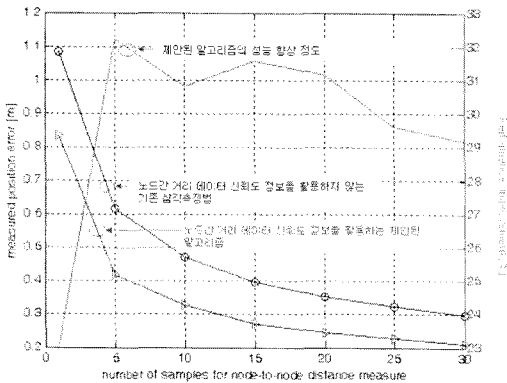


(그림 3) 제안된 알고리즘의 성능 평가를 위한 시뮬레이션 환경

### 4. 시뮬레이션 결과

제안된 알고리즘의 성능 분석을 위해, MATLAB을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 주 분석 내용은 노드간의 거리 정보만을 가지고 위치 검출을 수행하는 경우와 제안된 알고리즘과 같이 노드간의 거리 정보와 함께 그 신뢰도 정보를 함께 이용하여 위치 검출을 수행하는 경우의 성능 차이를 분석한다. 성능 평가를 위한 환경은 그림 3과 같은 시뮬레이션 환경을 사용한다. 여기서 4개의 비콘 노드들을 고려하였으며, 각 비콘 노드의 절대적 위치는 Beacon 1 (0,0), Beacon 2 (10,0), Beacon 3 (10,10), Beacon 4 (0,10)로 설정하였으며, 이동 센서 노드(unknown node)의 좌표는 10m x 10m 내 임의의 한 점에 위치하게 된다. 또한 표준편차 지수 및 양방향 지수 값을 산출하기 위해 계산된 노드간 거리데이터의 표준편차 및 계산된 상대적 거리편차가 0.5m 단위로 커짐에 따라, 표준편차 지수 및 양방향 지수를 1씩 증가시키고 표준편차 및 거리편차가 2이상인 경우 표준편차 지수 및 거리편차 지수를 각각 4로 설정하였다.

그림 4는 노드간 거리 측정 시 이루어지는 샘플 수  $N$ 에 따른 위치 검출 에러를 보여 준다. 사용되는 샘플 수  $N$ 이 증가함에 따라, 노드간



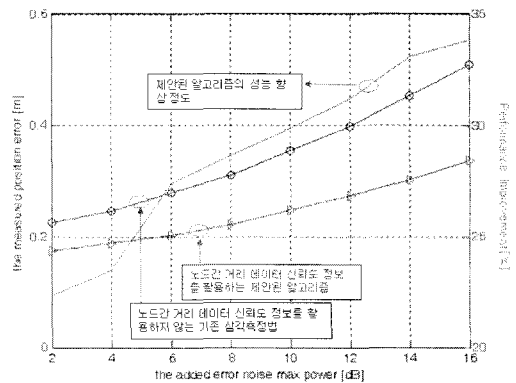
(그림 4) 노드간 거리 측정 시 사용되는 샘플 수  $N$ 에 따른 위치 검출 오차

거리의 신뢰도 정보가 활용되지 않는 경우와 노드간 거리의 신뢰도 정보가 활용되는 경우 모두 이동 센서 노드의 평균 위치 검출 오차가 감소함을 알 수 있다. 하지만 고정된 샘플 수  $N$ 에 대해, 제안된 알고리즘은 측정된 노드간 거리 정보의 신뢰도를 사용하지 않는 경우 보다 더 좋은 성능을 제공할 수 있다. 특히,  $N=5$ 인 경우 제안된 알고리즘을 통하여 거리 데이터 신뢰도 정보를 사용하지 않는 경우 보다 약 32%의 위치 검출의 정확도 향상을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

그림 5는 노드간 거리 측정 시 이루어지는 샘플 수  $N$ 이 20으로 주어질 때, 거리 잡음 전력 레벨에 따른 위치 검출 오차를 보여 준다. 그림에서와 같이, 거리 잡음 전력 레벨이 더 증가할수록 노드간 측정거리의 신뢰도 정보를 활용하는 경우 더 좋은 성능을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 거리 잡음 최대 전력 레벨이 약 16dB인 경우, 제안된 알고리즘을 통하여 거리 데이터 신뢰도 정보를 사용하지 않는 삼각 측정법 보다 약 34%의 위치 검출 오차를 줄일 수 있음을 알 수 있다.

## 5. 결론

수신 신호 세기를 이용하여 이동 센서 노드의



(그림 5) 거리 잡음 전력 레벨에 따른 위치 검출 오차

위치를 추정하기 위해서는 거리에 따른 신호 세기의 감쇠가 항상 일정해야 한다는 전제가 있다. 하지만 실제 RF 수신 신호는 공간상에 존재하는 장애물과 습도, 기온 등의 환경 요인에 의해 많은 차이를 보이게 되며 신호 세기의 절대 값에 의존해서 이동 센서 노드의 위치를 추정하게 되면 환경의 변화에 따라 추정 위치에 많은 에러를 포함하게 된다. 이러한 단점을 극복하기 위해, 본 논문에서는 노드간 거리 데이터뿐만 아니라 신뢰도 정보를 동시에 활용하는 위치 검출 알고리즘을 제안하였고, 제안된 알고리즘이 기본 알고리즘보다 약 30% 정도의 더 높은 위치 검출의 정확도를 제공할 수 있음을 보였다.

## 감사의 글

이 논문은 산업자원부/울산광역시 지원 울산대학교 네트워크 기반 자동화연구센터의 지원에 의한 것임

## 참고문헌

- [1] D. Culler and D. Estrin, "Overview of sensor networks," IEEE Computer Society, vol. 37, no. 8, pp. 41-49, Aug. 2004.
- [2] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam,

- and E. Cayirci, "A survey on sensor networks," *IEEE Comm. Mag.*, vol. 40, no. 8, pp.102-114, Aug. 2002.
- [3] L. Hu and D. Evans, "Localization for mobile sensor networks," *IEEE Proc. of International Conference on Mobile Computing and Networking*, pp45-57, 2004.
- [4] J. Hightower and G. Borriello, "location systems for ubiquitous computing," *IEEE Computer*. Vol 34, No. 8. August 2001.
- [5] P. Hahl and V. N. Padmanabhan, "RADAR : An in-building RF-based user location and tracking system," *IEEE Proc. of INFOCOM*, March, pp.166-179, 2000.
- [6] 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 Signal Processing Mag.*, vol. 22, no. 4, pp. 54-69, Jul. 2005.
- [7] Ekahau, <http://www.ekahau.com>
- [8] S. Gezici, "A survey on wireless position Estimation," *Wireless Personal Communications*, Vol. 44, no. 3, pp. 262 - 282, Feb. 2008.
- [9] K. W. Cheung, H. C. So, W.-K. Ma and Y . T. Chan, "Received Signal Strength Based Mobile Positioning via Constrained Weighted Least Squares," *IEEE Proc. of ICASSP*, pp.137-140, 2003.



● 저자 소개 ●



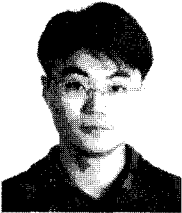
**구 인 수 (Insoo Koo)**

1996년 건국대학교 전자공학과 졸업(학사)  
1998년 광주과학기술원 정보통신공학과 졸업(석사)  
2002년 광주과학기술원 정보통신공학과 졸업(박사)  
2005년~현재 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 부교수  
관심분야 : 차세대 이동통신, 무선 센서네트워크  
E-mail : iskoo@ulsan.ac.kr



**찬 순 공 (Cong Tran Xuan)**

2007년 Ho Chi Minh City University of Technology 졸업(학사)  
2007년~현재 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 석사과정  
관심분야 : 무선 센서네트워크, 위치검출  
E-mail : txuancong@yahoo.com



**김 은 찬 (Eunchan Kim)**

1997년 숭실대학교 정보통신공학과 졸업(학사)  
1999년 광주과학기술원 정보통신공학과 졸업(석사)  
2005~현재 광주과학기술원 정보통신공학과 박사과정  
관심분야 : 무선센서네트워크, 위치추적, 거리측정기술  
E-mail : tokec@gist.ac.kr



**최 성 수 (Sungsoo Choi)**

1996년 경원대학교 전자공학과 졸업 (학사)  
1998년 광주과학기술원 정보통신공학과 졸업 (석사)  
2002년 Pre-Doctoral Assistant with University of Minnesota  
2003년 광주과학기술원 정보통신공학과 졸업 (박사)  
2004년 University of Minnesota 초빙연구원  
2003년 ~ 현재 한국전기연구원 융합기술연구단 선임연구원  
2003년 ~ 현재 한국과학기술연합대학원대학교 겸임교수  
2008년 ~ 현재 한국전기연구원 융합기술연구단 팀장  
E-mail : sschoi@keri.re.kr