

논문 2011-1-3

## 무선 센서 네트워크에서 수신신호세기와 전력손실지수 추정을 활용하는 비콘 노드 기반의 위치 추정 기법

### Beacon Node Based Localization Algorithm Using Received Signal Strength(RSS) and Path Loss Calibration for Wireless Sensor Networks

강형서\*, 구인수\*\*

Hyung-Seo Kang, In-Soo Koo

**요 약** 무선 센서 네트워크(WSN)에서 센서 노드의 위치 추정 기술 중 거리 기반의 위치 추정 기술은 거리 측정에 따라 센서 노드의 위치 추정의 정확성이 달라진다. 거리 기반의 위치 추정 기술에서 거리를 측정하는 많은 기술 중에 추가적인 장비 없이 쉽게 구현이 가능한 기술 중 하나는 수신 신호 세기이다. 그러나 수신신호세기 기반의 위치 추정 기법은 몇 가지 문제점을 고려해야 한다. 하나는 수신된 신호는 채널 환경에서 페이딩, 쉐도잉 그리고 장애물 등으로 인해서 거리 추정의 오차가 생긴다. 이로 인해서 센서 노드의 위치 추정의 정확성은 낮게 된다. 또 다른 하나는 거리 기반의 위치 추정 기술은 대부분 센서 노드에 의해서 자신의 위치를 추정한다는 것이다. 하지만 센서 노드의 한정된 배터리 용량 때문에 무선 센서 네트워크의 동작 시간이 감소하게 된다. 반면에 비콘 노드는 센서 노드보다 처리 능력과 배터리 용량이 더 높기 때문에 비콘 노드 기반 위치 추정 기법은 무선 센서 네트워크의 동작 시간을 연장 할 수 있다. 본 논문에서는 비콘 노드에서 수신 신호 세기와 전력손실지수 추정을 활용하여 센서 노드의 위치를 추정하는 알고리즘을 제안함으로써 위의 문제점을 극복한다. 시뮬레이션을 통해서 제안한 기법을 검증한다.

**Abstract** In the range-based localization, the localization accuracy will be high dependent on the accuracy of distance measurement between two nodes. The received signal strength(RSS) is one of the simplest methods of distance measurement, and can be easily implemented in a ranging-based method. However, a RSS-based localization scheme has few problems. One problem is that the signal in the communication channel is affected by many factors such as fading, shadowing, obstacle, and etc, which makes the error of distance measurement occur and the localization accuracy of sensor node be low. The other problem is that the sensor node estimates its location for itself in most cases of the RSS-based localization schemes, which makes the sensor network life time be reduced due to the battery limit of sensor nodes. Since beacon nodes usually have more resources than sensor nodes in terms of computation ability and battery, the beacon node based localization scheme can expand the life time of the sensor network. In this paper, therefore we propose a beacon node based localization algorithm using received signal strength(RSS) and path loss calibration in order to overcome the aforementioned problems. Through simulations, we prove the efficiency of the proposed scheme.

**Key Words :** 비콘 노드 기반의 위치 추정 알고리즘, 수신신호세기, 전력손실지수

\*준희원, 울산대학교, 전기전자정보시스템공학부

\*\*정희원, 울산대학교, 전기전자정보시스템공학부 (교신저자)

접수일자: 2010.10.27 수정일자: 2010.12.3

게재확정일자: 2011.2.11

## I. 서 론

최근 정보 통신 기술의 H/W와 S/W 발전으로 무선 이

동 통신 기술이 비약적으로 발전되었다. 그로 인해서 화재 정보, 홈 네트워크, 생태계 감지 등과 같은 무선 센서 네트워크(wireless sensor networks, WSNs) 또는 유비쿼터스 센서 네트워크(ubiquitous sensor networks, USNs) 시스템이 실현 가능하게 되었다. 이 시스템에서 중요한 부분은 문제점이 발생된 지점의 위치를 인지하고 지속적인 무선 센서 네트워크 동작을 위한 효율적인 에너지 절약 및 관리이다. 이를 위해서 센서 노드들의 정확한 절대적인 위치 또는 상대적인 위치 추정이 필요하게 되었다<sup>1,2)</sup>.

센서 노드의 위치를 추정하는 대표적인 기술에는 GPS(global positioning system) 수신기를 장착하는 것이다. 하지만 GPS를 이용한 위치 추정은 추가적인 하드웨어와 많은 전력 소비를 요구하고 실외에서 건물, 나무 등과 같은 LOS(light of sight)에 방해가 되는 요소가 존재할 시 위치 정확도가 떨어지고 특히 수신이 되지 않는 실내에 경우에는 이용할 수 없는 단점이 존재한다. 이를 해결하기 위해서 현재 많은 기법들이 제안되었고<sup>3,4,5,6,7,8)</sup>, 이는 위치 추정의 기법에 따라 두 가지로 분류할 수 있다.

하나는 노드간의 거리를 측정 후 이를 이용하여 센서 노드의 위치를 추정하는 거리 기반의 위치 추정 기술이다. 대표적인 기술로는 MDS(multidimensional scaling), 삼각측량법 등이 있다. MDS는 전체 노드간의 측정된 거리 정보와 전체 노드의 위치를 가정해서 계산된 거리의 오차가 최소가 될 때의 위치를 찾는 방법이다. 삼각측량법은 위치를 알고 있지 않는 센서 노드(sensor node)의 전송 범위 안에 자신의 위치를 알고 있는 비콘 노드(beacon node)가 3개 이상이 존재할 때 센서 노드의 위치 추정이 가능한 방법이다. 거리 측정을 위한 대표적인 기술로는 도착 시간(time of arrival, TOA)<sup>3)</sup>, 도착 시간 차(time difference of arrival, TDOA)<sup>4)</sup>, 도착 위상(angle of arrival(AOA)<sup>5)</sup> 그리고 수신 세기 신호(received signal strength, RSS)<sup>6)</sup> 등이 있다. 이와 반대로 거리를 기반으로 하지 않는 위치 추정 기법은 노드간의 거리 대신에 노드간의 홉(hop) 수 또는 센서 노드 위치에 대한 확률을 이용한 방법 등이 있다. 대표적인 기술로는 Centroid, DV-hop 등이 있다<sup>7,8)</sup>. Centroid는 단순히 센서 노드가 어느 비콘 노드들 사이에 존재하는 지에 대한 추정만 가능할 뿐 정확한 위치를 추정하기는 어렵다. DV(distance vector)-hop은 두 개의 비콘 노드 사이의 거리와 비콘 노드 사이에 존재하는 센서 노드의 수를 홉-카운트

(hop-count)하여서 1 hop의 거리를 구함으로써 각 센서 노드와 비콘 노드간의 거리를 추정하는 방법이다. 이 기술도 대략적인 위치 추정만 가능하다. 그러므로 거리를 기반이 아닌 위치 측정 기술은 정확한 위치를 요구하는 시스템에서는 적용하기 어렵다.

현재 정확한 센서 노드의 위치 추정을 위한 많은 연구는 거리 기반의 위치 추정 기술을 사용하고, 거리 측정 기술은 추가적인 하드웨어 없이 낮은 소비 전력으로 쉽게 구현이 가능한 수신신호세기를 많이 이용하고 있다. 이 때 고려해야 할 점은 수신신호세기를 이용한 거리 측정은 노드간의 채널 상태에 따라서 거리의 정확성이 낮아지고 이로 인해서 센서 노드의 위치 추정 정확성 또한 낮아진다. 대부분의 논문에서는 전력 손실 지수가 채널 환경에서 일정하거나 센서 노드가 이미 알고 있다고 가정하지만 이것은 실제 구현에서는 어렵다. 이를 해결하기 위해서 많은 연구가 제안 되었다<sup>9,10)</sup>. 한 가지 방법은 두 개의 비콘 노드에서 하나의 비콘 노드가 자신의 위치가 담긴 신호를 전송하면 다른 하나의 비콘 노드가 이 신호를 수신하여 위치 정보를 기반으로 노드간의 거리를 계산할 수 있다<sup>9)</sup>. 그 후 각 비콘 노드에서는 계산된 거리와 수신 신호 세기(path loss)를 이용하여 전력 손실 지수를 추정할 수 있고, 추정된 전력 손실 지수의 평균값으로 센서 노드의 위치를 추정하는 방법이다. 하지만 이 방법은 채널의 평균 적인 전력 손실 지수 값을 추정가능하나 각 비콘 노드와 센서 노드간의 전력 손실 지수를 추정하지 못하므로 정확한 위치를 추정하기 힘들다. 이를 해결하기 위한 다른 방법<sup>10)</sup>은 비콘 노드에서 센서 노드간의 각도를 측정하여 전력 손실을 추정하는 방법이므로 계산 능력이 많이 요구가 된다.

또한 이러한 수신신호세기를 이용한 거리 기반의 위치 추정 방법의 대부분은 센서 노드에서 자신의 위치를 추정한다. 이 경우, 센서 노드의 한정된 배터리 용량 때문에 무선 센서 네트워크 동작 시간은 줄어들게 된다. 반면에 비콘 노드는 센서 노드보다 처리 능력과 배터리 용량이 더 높기 때문에 비콘 노드 기반의 위치 측정 방법은 무선 센서 네트워크 동작 시간을 연장할 수 있고 더욱 빠르고 정확한 계산이 가능하다. 이러한 비콘 노드의 특징으로 인해서 본 논문에서는 비콘 노드에서 센서 노드로부터 받은 신호의 수신신호세기와 전력 손실 지수를 추정하여 센서 노드와의 정확한 거리를 추정하고 이를 기반으로 거리에 대한 신뢰도 평가 후 센서 노드의 위치를

추정을 하는 알고리즘을 제안함으로써 거리 기반의 위치 추정 알고리즘이 가지고 있는 문제점을 극복한다.

본 논문에서는 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 무선 센서 네트워크에서의 시스템 모델을 살펴보고 3장에서는 제안하는 알고리즘에 대해 기술한다. 4장에서는 제안한 알고리즘에 대한 평가를 하고, 5장에서는 본 논문의 결론을 내린다.

## II. 시스템 모델

### 1. 시스템 구성

대부분의 무선 센서 네트워크의 노드들은 노드간의 통신 범위 안에 랜덤하게 분포되어 있다. 본 논문에서의 시스템도 그림 1과 같이 하나의 센서 노드 주변에 3개 이상의 비콘 노드가 랜덤하게 분포되어 있고, 센서 노드와 비콘 노드간의 거리는 서로 정보를 송신하고 수신할 수 있는 범위 안에 속해 있다고 가정한다. 추가적으로 본 논문에서는 2차원 공간에서의 센서 노드의 위치를 추정한다.

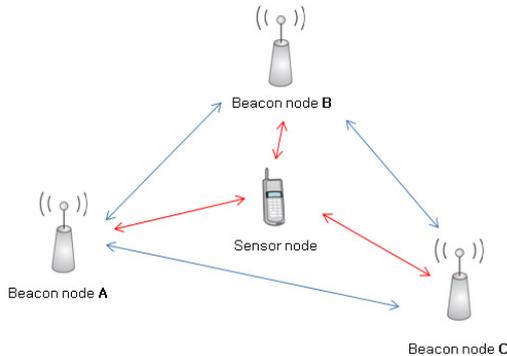


그림 1. 시스템 모델.  
Fig.1 System model.

### 2. 전파 모델

본 논문에서는 수신 신호 세기를 이용하여 센서 노드와 비콘 노드간의 거리를 측정하기 때문에 비콘 노드에서의 수신 신호 세기를 수식(1)과 같이 나타낼 수 있다 [11].

$$P_r(d) = P_t \cdot G_t \cdot G_r \cdot \left(\frac{c}{4\pi f}\right)^2 \quad (1)$$

여기서  $P_r(d)$ 는 수신단의 수신 전력,  $P_t$ 는 송신단의 송신 전력,  $G_t$ 는 송신단 안테나 이득,  $G_r$ 는 수신단 안테나 이득,  $c$ 는 전파 속도, 그리고  $f$ 는 신호 주파수이다.

통계적인 평균 수신 신호 세기를 통해서 수식(1)을 수식(2)으로 표현 가능하다[12].

$$P_r(d) = P_t \cdot \left(\frac{c}{4\pi f}\right)^2 \cdot \frac{1}{d^\eta} \quad (2)$$

여기서  $P_r$ 은 수신 노드에서의 수신된 신호의 전력,  $P_t$ 는 송신 노드에서의 송신하는 신호의 전력,  $c$ 는 전파의 속도,  $d$ 는 노드간의 거리,  $f$ 는 사용 전파의 주파수,  $\eta$ 는 전력 손실 지수이다.

신호의 전파의 특징은 페이딩, 쉐도잉 등과 같은 요인에 의해서 많은 영향을 받고 이러한 상태 변수를 전력 손실 지수( $\eta$ )로 나타낼 수 있다. 그리고 수식(2)에서 보듯이 거리에 비해서 전력 손실 지수에 따라서 수신 신호 세기의 측정값이 많이 변하기 때문에 정확한 거리와 위치 추정을 위해서 전력 손실 지수의 정확한 값을 알아야 한다. 하지만 전력 손실 지수의 정확한 값을 추정하는 것은 쉽지 않다.

수식(2)을 무선 센서 통신을 위한 로그 정규 분포 쉐도잉(log normal shadowing) 전력 손실 모델인 수식(3)과 같이 표현 가능하다[10].

$$P_{PL}[dB] = \eta \cdot 10\log(d) + X(dB) \quad (3)$$

여기서  $P_{PL}[dB]$ 는  $P_t[dB] - P_r[dB] - 20\log\left(\frac{4\pi f}{c}\right)$ ,  $X_0[dB]$ 는 채널 노이즈(channel noise)이고 이것은 평균 0인 가우시안 분포(Gaussian distribution)를 가지는 랜덤 변수(random variance)이다.

## III. 제안된 비콘 노드 기반의 위치 추정 알고리즘

센서 노드의 위치 추정에서 고려해야 할 점은 채널 환경의 특성을 나타내는 전력 손실 지수(path loss exponent)의 정확한 추정과 센서 노드의 위치를 추정 시

무선 센서 네트워크의 동작 시간을 오래 지속하기 위한 최소한의 소비 전력으로 센서 노드의 위치를 추정해야 하는 것이다. 본 논문에서는 수신 신호 세기와 전력 손실 지수를 추정하여 비콘 기반의 위치 추정 알고리즘을 제안한다. 이 알고리즘은 4단계로 구분된다.

### 1. 비콘 노드들 간의 전력 손실 지수 추정

각 비콘 노드는 자신의 ID와 위치 정보가 포함된 신호(*beacon message*)를 한 홉(hop) 거리에 존재하는 비콘 노드에게 주기적으로 브로드캐스트(broadcast)한다. *beacon message*를 받은 이웃한 비콘 노드는 송신한 노드 사이의 위치 정보를 통해서 거리를 계산할 수 있고, 이를 기반으로 수신 신호 세기(path loss)를 이용하여 신호를 송신한 비콘 노드와의 전력 손실 지수를 수식(3)을 통해서 추정한다.

### 2. 센서 노드의 임시 위치 측정

센서 노드의 임시 좌표는 기존의 방법과 같다. 먼저 3.1절에서 비콘 노드가 전송한 *beacon message*를 수신하여 신호 세기를 알 수 있기 때문에 비콘 노드의 ID와 위치 정보를 이용해서 각 비콘 간의 거리를 알 수 있다. 이 때 전력 손실 지수의 정확한 값을 알 수 없기 때문에 임의의 전력 손실 지수 값으로 설정한다. 일반적으로 전파의 페이딩이나 간섭으로 인한 신호 감쇄가 없는 경우는 전력 손실 지수 값을 2로 설정하고, 신호 감쇄가 심할 경우 4로 설정한다. 센서 노드와 각 비콘 간의 거리를 기반으로 최소자승법(least square method)을 이용해서 센서 노드의 임시 위치를 측정한다.

### 3. 각 비콘 노드와 센서 노드간의 전력 손실 지수 추정

각 비콘 노드와 센서 노드간의 전력 손실 지수는 3.1절에서 측정된 비콘 간의 전력 손실 지수와 3.2절에서 측정된 센서 노드의 임시 위치를 기반으로 추정이 된다. 먼저 센서 노드는 3.2절에서 측정한 자신의 임시 위치 정보가 포함된 신호(*temp message*)를 비콘 노드에게 브로드캐스트(broadcast)한다. *temp message*를 수신한 비콘 노드는 그림 2와 같이 센서 노드의 임시 위치가 어느 비콘 노드들과 인접한 지에 따라서 전력 손실 지수의 가중치를 주어서 개선된 전력 손실 지수를 추정한다.

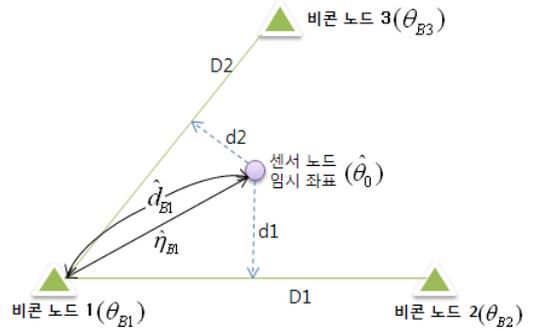


그림 2. 비콘 노드와 센서 노드간 전력 손실 지수 추정.  
Fig. 2 Estimation of path loss exponent of the link between beacon node and sensor node.

그림 2는 비콘 노드 1과 센서 노드간의 전력 손실 지수( $\hat{\eta}_{B1}$ )를 추정하기 위한 그림이다. 2차원 공간에 비콘 노드 1, 2 그리고 3이 존재하고 3.2 절에서 측정한 센서 노드의 임시 좌표( $\hat{\theta}_0$ )가 있다고 하자. 이 때 비콘 노드 1과 비콘 노드 2 사이의 거리는  $D1$ , 전력 손실 지수는  $\eta_1$ 이라고 하고, 비콘 노드 1과 비콘 노드 3 사이의 거리는  $D2$ , 전력 손실 지수는  $\eta_2$ 라고 하자. 그리고 센서 노드의 임시 위치와 비콘 노드 1과 비콘 노드 2 사이의 직선과의 거리를  $d1$  이라고 하고, 센서 노드의 임시 위치와 비콘 노드 1과 비콘 노드 3 사이의 직선이 거리를  $d2$  이라고 하자. 이 때  $d$  값은 비콘 노드 사이의 직선과 센서 노드의 임시 위치와 가장 가까운 수직 거리로써 수식 (4)로 표현할 수 있다.

$$d_k = \min \| \hat{\theta}_0 - D_k \| \quad (4)$$

여기서  $k = 1, 2$ 이다.

비콘 노드 1과 센서 노드간의 전력 손실 지수( $\hat{\eta}_{B1}$ )는 수식(5)을 통해서 추정한다.

$$\hat{\eta}_{B1} = \frac{d_2 * (10 \log D_1) * (PL_1) + d_1 * (10 \log D_2) * (PL_2)}{d_2 * (10 \log D_1)^2 + d_1 * (10 \log D_1)^2} \quad (5)$$

여기서  $PL_1$ 와 비콘 노드 1이 비콘 노드 2로부터 수신한 신호 세기,  $PL_2$ 는 비콘 노드 1이 비콘 노드 3로부터

터 수신한 신호 세기이다.

#### 4. 각 비콘 노드에서 센서 노드의 위치 추정

3.3절에서 추정한 비콘 노드와 센서 노드간의 전력 손실 지수를 이용하여 두 노드간의 개선된 거리( $\hat{d}_{B1}$ )를 구할 수 있다. 이 거리 정보를 이용하여 비콘 노드 1에서 센서 노드의 임시 위치에서 원 센서 노드의 위치에 근접하는 개선된 위치를 추정한다. 그림 3은 센서 노드의 임시 위치와 3.3절에서 추정한 두 노드간 거리( $\hat{d}_{B1}$ )를 이용해서 개선된 위치를 추정하기 위한 그림이다. 개선된 센서 노드의 위치를 수식(6)을 통해서 추정할 수 있다.

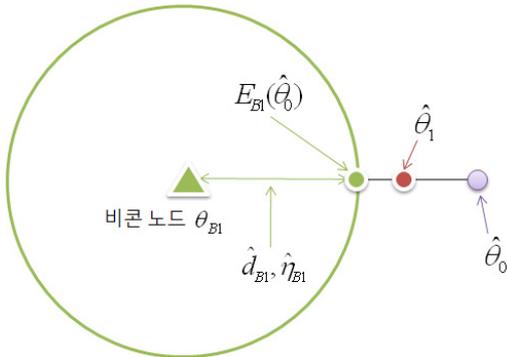


그림 3. 비콘 노드 1 기반의 센서 노드의 위치 추정.  
Fig. 3 Location estimation of sensor node with respect to the beacon node 1.

$$\hat{\theta}_1 = w_{B1} E_{B1}(\hat{\theta}_0) + (1 - w_{B1}) \hat{\theta}_0 \quad (6)$$

여기서  $\hat{\theta}_1$ 는 비콘 노드 1에서의 개선된 센서 노드,  $E_{B1}(\hat{\theta}_{B1})$ 는 비콘 노드 1의 관점에서 추정한 거리( $\hat{d}_{B1}$ )를 기반으로 센서 노드의 예상되는 위치,  $w_{B1}$ 는 비콘 노드 1에서 예상되는 센서 노드의 위치와 센서 노드의 임시 위치 사이의 가중치(weighting factor)이다. 무선 채널 상태에서 수신 신호 세기를 이용한 거리는 거리가 클수록 그 오차가 늘어난다. 그러므로 가중치( $w_{B1}$ )는 센서 노드의 임시 위치(개선되기 전 위치,  $\hat{\theta}_0$ )와 비콘 노드 1에서 예상하는 센서 노드의 위치 ( $E_{B1}(\hat{\theta}_{B1})$ ) 중에서 신뢰할 수 있는 위치에 더 높은 가중치를 주기 위한 가중치 변수로써  $1/[(\hat{d}_{B1}/\hat{d}_{min})^2 + 1]$ 로 정의한다. 여기서  $\hat{d}_{min}$  이전에 고려된 비콘 노드와 센서 노드간의 가장 가까운 거리이다.

수식(6)을 일반화하면 식(7)로 표현 할 수 있다.

$$\hat{\theta}_k = w_{Bk} E_{Bk}(\hat{\theta}_{k-1}) + (1 - w_{Bk}) \hat{\theta}_{k-1} \quad (7)$$

여기서  $k$  ( $k=1, 2, \dots$ )는 비콘 노드에서 센서 노드의 위치를 갱신한 횟수이다.

제안한 알고리즘을 통해서 센서 네트워크에서 센서 노드의 위치 추정 시 소비되는 전력은 기존의 센서 노드 기반의 위치 추정 기술보다 더 작게 든다.

#### IV. 시뮬레이션 결과

제안한 알고리즘의 시뮬레이션을 위해서 matlab tool 을 이용하였다. 시뮬레이션 환경은  $100m \times 100m$  공간에서 센서 노드의 위치를 랜덤하게(randomly) 변화를 주면서 5000번 측정하였다. 이 때 거리 오차는 유클리드(Euclidean) 거리 공식을 이용하였고, 제안한 알고리즘을 기존의 알고리즘<sup>[9,10]</sup>과 성능을 비교하였다.

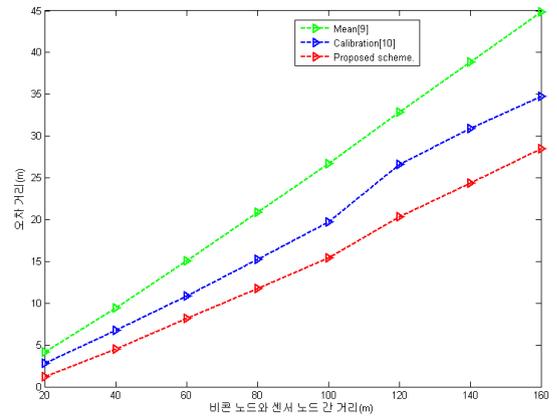


그림 4. 비콘 노드와 센서 노드간의 거리에 따른 센서 노드 위치 추정 오차  
Fig.4 Location estimation error of sensor node according to the distance between beacon node and sensor node.

그림 4는 비콘 노드와 센서 노드간의 거리에 따른 센서 노드 위치 추정에 대한 오차 거리를 보여준다. 전력 손실 지수는 2~4로 랜덤(random)하게 선택되고, 채널 노이즈(channel noise,  $X[dB]$ )는 평균(mean)이 0이고 분산(variance)이 2인 가지는 가우시안 분포를 따른다. 그

림 4에서 볼 수 있듯이 비콘 노드와 센서 노드간의 거리가 증가할수록 센서 노드의 위치 추정에 대한 거리 오차는 증가하는 것을 알 수 있다. 하지만, 제안된 위치 추정 알고리즘은 동일 조건에서 기존의 다른 방법보다 좋은 성능을 보임을 알 수 있다.

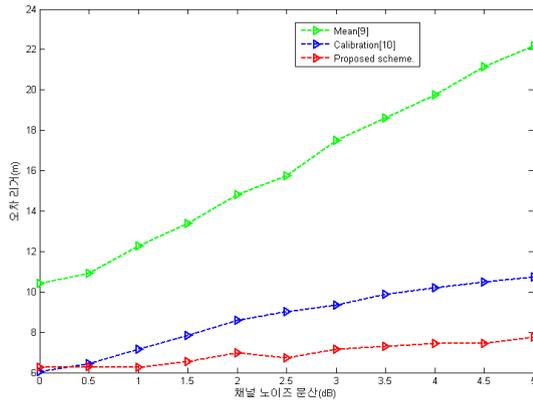


그림 5. 채널 노이즈( $\chi$ [dB])의 분산에 따른 센서 노드 위치 추정 오차.

Fig.5 Location estimation error of sensor node according to the variance of channel noise.

그림. 5는 채널 노이즈( $\chi$ [dB])의 분산(variance)에 따른 센서 노드 위치 추정에 대한 오차 거리를 보여준다. 통신 환경에서 채널 노이즈의 분산(variance)이 증가 할수록 센서 노드 위치 추정에 대한 오차 거리가 증가하는 것을 알 수 있다. 하지만, 제안된 위치 추정 알고리즘은 기존의 다른 방법보다 채널 노이즈에 덜 민감하고, 동일 조건에서 가장 좋은 성능을 보임을 알 수 있다.

## V. 결론

무선 센서 네트워크에서 센서 노드의 위치 측정 기법들 중에서 중요한 부분은 센서 노드의 정확한 위치 측정과 위치 추정 시 무선 센서 네트워크의 특성을 고려하여 가장 효율적인 에너지 관리를 기반으로하는 것이다. RSS는 센서 노드의 위치를 측정하기 위한 방법에서 거리를 측정하는 기술 중에서 많이 사용된다. 하지만 이 기술의 특성상 정확한 거리 측정을 위해서는 전력 손실 지수 값을 정확하게 추정하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 비콘 노드를 기반으로 효율적으로 센서 노드의 전력

손실 지수를 추정하고 이를 기반으로 효율적인 에너지 관리를 위해서 비콘 노드를 기반으로 위치를 측정하는 알고리즘을 제안한다. 이를 통해 센서 노드의 위치 측정의 정확도는 물론 무선 센서 네트워크에서 중요한 에너지 측면에서도 향상 시킬 수 있음을 보였다.

## 참고 문헌

- [1] W. Hu, H. Qin, H. Huang, "A Mobile Beacon Based Method for Wireless Sensor networks Localization", in Proc. ICCT, pp.144-147, 2008.
- [2] Ahmed, A.A., Shi, H., Shang, Y., "SHARP: a new approach to relative localization in wireless sensor networks", in Proc. ICDCSW, pp. 892-898, June 2005.
- [3] N. Pryantha, A. Chakaborty, H. alakrishnan, "The Cricket location support system", in Proc. 6th Int Conf. on Mobile Computing and Networking, pp. 32-43, August 2000.
- [4] A. Savvides, C.C. Han, M.B. Strivastava, "Dynamic fine-grained localization in ad-hoc networks of sensors", in Proc. 7th Int Conf. on Mobile Computing and networking, pp. 166-179, May 2001.
- [5] D. Niculescu, B. Nath, "Ad hoc positioning system (APS) using AOA", in Proc. INFOCOM, pp.1734-1743, April 2003.
- [6] N. Patwari, A. Hero A, M. Perkins, N. Correal, and B. O'Dea, "Relative Location Estimation in Wireless Sensor Networks," IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 51, no. 8, pp. 2137-2148, Aug 2003.
- [7] N. Bulusu, J. Heidemann, and D. Estrin, "GPS-less low cost outdoor localization for very small devices", IEEE Personal Commun, vol. 7. 2000, pp. 28-34.
- [8] D. Niculescu and B. Nath, "DV based positioning in ad hoc networks." Kluwer J. Telecommun. Syst, vol. 22 No. 1, 2003, pp. 267-280
- [9] Y. Ding, Y. Sun, T. Li, and Q. Zhang, "A New

Distributed Localization Scheme for Wireless Sensor Network Based on Omni-directional Antenna”, Wireless, Mobile and Sensor Networks, 2007. (CCWMSN07). IET Conference. Dec. 2007, pp. 592 - 595

[10] C. Tran-Xuan, and I. Koo, "An RSS-Based Localization Scheme Using Direction Calibration and Reliability Factor Information for Wireless Sensor Networks", Transactions on Internet and Information Systems, vol. 4, No. 1, pp.45 - 61, Feb. 2010.

[11] J. D. Kraus and R. J. Marhefka, "Antennas for All Applications," Tata Mc.Graw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi, India, Third Reprint, (2003).

[12] Rappaport, T. Wireless Communication: Principles and Practice, 2nd Ed; Prentice-Hall 2002.

※ 이 논문은 2011년도 현대중공업 지원에 의한 울산대학교 전기공학부 일류화 연구비에 의하여 연구되었음

### 저자 소개

#### 강 형 서(준회원)



- 계명대학교 전기전자공학과 졸업 (학사)
- 2009~현재 울산대학 전기전자정보 시스템공학부 석사과정

<주관심분야 : 인지무선시스템, 무선센서네트워크>

#### 구 인 수(정회원)



- 1996년 건국대학교 전자공학과 졸업 (학사)
- 1998년 광주과학기술원 정보통신공학과 졸업(석사)
- 2002년 광주과학기술원 정보통신공학과 졸업(박사)
- 2005년~현재 울산대학교 전기전자

정보시스템공학부 부교수

<주관심분야 : 차세대 이동통신, 무선 센서네트워크>