

# 무선 센서 네트워크에서 RSS 비교 기반의 Ranging-free 무선측위 기법

준회원 관 트 링\*, 르 나 탄\*, 김 중 호\*, 종신회원 신 요 인\*

## A Ranging-free Localization based on RSS-comparison in Wireless Sensor Networks

Quan T. Hoang\*, Tan N. Le\*, Jongho Kim\* Associate Members, Yoan Shin\*<sup>o</sup> Lifelong member

### 요 약

무선 센서 네트워크는 다양한 분야에서 널리 사용되고 있으며, 무선측위는 무선 센서 네트워크를 운영하고 관리하는데 있어서 기본적으로 중요한 문제이다. 본 논문에서는 레인징을 기반으로 하지 않는 (Ranging-free) 기법의 장점을 가지는 간단하고 낮은 비용의 무선측위 기법을 제안한다. 제안 기법은 임의의 노드를 가지는 측위 영역을 예측하기 위해 이웃 앵커 노드들의 위치 정보를 사용한다. 그 후, RSS (Received Signal Strength) 비교 기법을 이용하여 이웃 앵커 노드로부터 수신된 신호들의 측위 영역을 줄여간다. 이러한 RSS 비교 기법은 기존의 CPE (Convex Position Estimation) 비해 별도의 연산 증가량 없이도 더욱 정확하고 안정된 무선측위 성능을 얻을 수 있음을 모의실험을 통해 보여준다.

**Key Words** : Wireless sensor networks, Localization, Ranging-free, Received signal strength-comparison, Convex Position Estimation

### ABSTRACT

Wireless sensor networks are becoming more widely used in various fields. Localization is a fundamental and crucial issue for sensor network operation and management. In this paper, we propose a simple, distributed and low cost localization algorithm which approaches the benefits of ranging-free schemes. The proposed algorithm utilizes the location information of neighbor anchor nodes to estimate an estimative area which has the unknown node inside. Then, by using RSS (Received Signal Strength)-comparison, it compares the RSS of received signals from the neighbor anchor nodes and reduces the estimative area. Simulation results show that our proposed algorithm is more accurate and stable than the traditional CPE (Convex Position Estimation) algorithm which has the same approach.

### I. 서 론

최근, 무선 센서 네트워크 (Wireless Sensor Network)는 검색 및 구조, 재해 구난, 목표물 추적, 스마트 환

경과 같은 생물학, 국방, 기술 산업 등의 다양한 응용 분야에서 각광을 받고 있다. 이러한 무선 센서 네트워크 시스템에서는 다양한 환경에서 센서 노드가 자신의 위치를 찾을 수 있어야 한다<sup>1-3)</sup>. 예를 들면, 산불

※ 본 논문은 지식경제부의 산업원천기술개발사업 (No. 10011385)으로 지원된 연구임.

\* 숭실대학교 정보통신전자공학부 통신 및 정보처리 연구실({ht\_quan; lenhattan86; kim-jongh}@amcs.ssu.ac.kr, yashin@ssu.ac.kr)  
(<sup>o</sup>: 교신저자)

논문번호: KICS2010-07-336, 접수일자: 2010년 7월 28일, 최종논문접수일자: 2010년 8월 23일

감지 시스템은 화재 발생 위치와 시각 정보를 즉시 감지 할 수 있어야 한다. 물류 창고 시스템의 경우, 보관 물건들의 위치 정보 전달을 위해 물건 자체의 센서에서 자신의 위치 정보를 보고하는 것 또한 그러한 예로 볼 수 있다. 이렇듯 무선측위 (Wireless Localization)는 많은 무선 센서 네트워크 응용 분야에서 더욱 주목 받고 있다.

무선 센서 네트워크에서의 무선측위는 현재 활발히 연구 되고 있는 분야이다. 무선측위 시스템에서는 실외 환경의 경우 GPS (Global Positioning System) 방식이 일반적으로 많이 사용되고 있다. 하지만, 무선 센서 네트워크에서 모든 센서 노드에 GPS가 적용되지는 않는다. 이는 센서 노드는 크기와 비용, 전력에 제한을 가지기 때문이다. 이러한 이유로, 무선 센서 네트워크를 위한 많은 무선측위 기법들이 최근에 연구되고 있다. 대부분의 무선측위 기법들은 센서의 절대적 위치를 결정하기 위해 특정 앵커 노드 (Anchor Node)의 사용을 가정한다. 각 앵커 노드는 자신의 절대적 위치 정보를 획득하기 위해 GPS 수신기를 갖추고 있는 경우도 있다. 자신의 위치를 모르는 임의의 노드는 이웃 앵커 노드의 위치를 참조하여 자신의 위치를 추정 할 수도 있다.

무선측위 기법은 일반적으로 거리 측정, 즉 레인징 (Ranging)을 기반으로 하는 것<sup>4,5)</sup>과 레인징을 기반으로 하지 않는 (Ranging-free) 것<sup>6-10)</sup>으로 분류할 수 있다. 특히, 레인징 기반의 무선측위 방법인 ToA (Time of Arrival), TDoA (Time Difference of Arrival), AoA (Angle of Arrival) 등은 별도의 하드웨어가 요구 되는 반면에, 레인징을 기반으로 하지 않은 무선측위는 일반적으로 거리와 방향 측정 없이 임의의 센서 노드의 위치를 추정한다. 이와 같은 이유로, 레인징 기반의 기법은 레인징을 기반으로 하지 않는 기법 보다 더욱 우수한 성능을 가지지만, 레인징 시스템을 장착하고 있는 무선 센서들은 고가의 하드웨어를 필요로 한다<sup>8,9)</sup>. 따라서, 본 논문은 무선 센서 네트워크 환경에서 RSS (Received Signal Strength) 비교 기반의 간단한 무선측위 기법을 제안한다. 제안 기법에서는 레인징을 기반으로 하지 않는 기법과 동일하게, 앵커 노드가 자신의 위치와 식별자를 포함하는 비콘 (Beacon) 신호들을 전송한다. 이후, 이 신호를 전송 받은 임의의 노드는 앵커 노드의 송신 범위들의 교차점을 기반으로 자신의 위치를 추정하게 된다. 계속해서, 본 기법은 무선측위의 정확도 향상과 복잡도 감소를 위해 각 앵커 노드의 RSS를 비교하는 방법을 이용한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II절에서는 제안된 무선측위 기법에 대해 자세히 설명하고, III절에서는 모의실험의 결과와 분석을 설명한다. 마지막으로 IV절에서는 결론을 내린다.

## II. RSS 비교 기반의 제안된 무선측위 기법

본 절에서는, 먼저 무선 센서 네트워크에서 레인징을 기반으로 하지 않는 무선측위 기법에서의 몇 가지 가정을 하고 다음으로 RSS 비교기를 설명한다. 마지막으로 레인징을 기반으로 하지 않는 무선측위 기법을 제안한다.

### 2.1 가정

제안된 무선측위 기법은 다음과 같은 가정을 기반으로 한다. 본 논문에서의 무선 센서 네트워크 시스템은 전체  $N$  개의 센서 노드들로 구성되며 이들은 같은 송신 전력을 가진다. 모든 노드들의 전송 반경은  $R$ 이고 각 노드들은 각기 다른 식별자를 가진다.  $M$  ( $0 < M < N$ )개 앵커 노드의 위치는 알고 있다고 가정하며,  $(N - M)$ 개의 임의의 노드의 위치를 추정하는데 주안점을 둔다. 계속해서, 모든 임의의 노드들은 이웃하는 앵커 노드들로부터 수신된 신호들의 신호의 세기를 비교하는 RSS 비교기를 가지고 있다고 가정한다. 한편, 레인징 기반의 기법과 달리 본 논문에서 제안하는 RSS 비교 기반의 기법은 임의의 노드에서 이웃 앵커 노드간의 거리를 추정해야 할 필요가 없다. 이로 인해 레인징을 기반으로 하지 않는 다른 기법들에 비해 제안 기법은 낮은 복잡도를 가질 수 있다.

### 2.2 RSS 비교기

그림 1에서는 두 개의 이웃하는 앵커 노드에서의 측위 영역 (Estimative Area)을 나타내고 있다. 여기서 우리는 임의의 노드  $U$ 와 두 개의 이웃하는 앵커 노드  $A_1$ 과  $A_2$ 가 있다고 가정한다. 또한, 전송 반경이라 부르는 센서 노드의 신호 도달 범위는 완전한 원으로 나타내고 센서 노드의 위치는 원의 중심으로 둔다. 여기서  $C(A_1)$ 과  $C(A_2)$ 는 각각  $A_1$ 과  $A_2$ 의 전송 반경으로 나타내며,  $L$ 은 중첩이 되는 두 전송 반경  $C(A_1)$ 과  $C(A_2)$ 의 교차점을 이은 선이다.

이웃 앵커 노드  $A_1$ 과  $A_2$ 로부터 신호를 수신하게 되면, 임의의 노드  $U$ 의 RSS 비교기는 수신된 신호의 RSS 크기 비교를 한다.  $RSS_1$ 과  $RSS_2$ 를 각각 이웃하는 앵커 노드  $A_1$ 과  $A_2$ 로부터 수신된 신호의 RSS

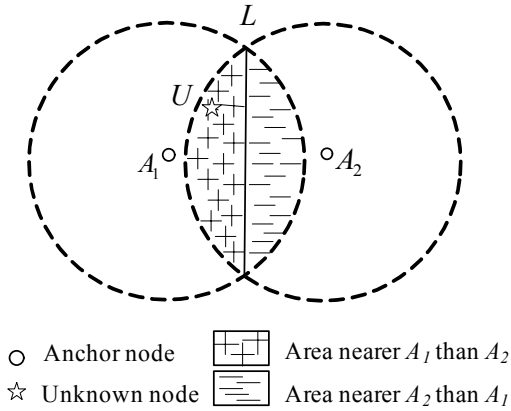


그림 1. 두 개의 이웃 앵커 노드에서의 측위 영역

이라 할 때, 일반성을 잃지 않고 식 (1)과 같은 상황을 고려하자.

$$RSS_1 > RSS_2 \quad (1)$$

일반적인 무선 센서 네트워크의 근거리 통신 특성을 감안하여 신호 크기의 주요 감쇠 요인으로서 경로 손실만을 가정하면, 임의의 노드에서 각각의 앵커 노드간의 거리를 모르더라도 식 (1)로부터 식 (2)와 같은 부등식을 얻을 수 있다.

$$d_1 < d_2 \quad (2)$$

여기서  $d_1$ 과  $d_2$ 는 임의의 노드  $U$ 에서 이웃 앵커 노드  $A_1$ 와  $A_2$ 까지의 거리이다. 그림 1에서와 같이 임의의 노드  $U$ 의 위치는 중복된 영역의 왼쪽 부분 즉,  $A_1$ 에 가까운 위치에 있게 되고 이는 식 (1)과 (2)를 만족하게 된다. 따라서, 임의의 노드가 위치하고 있는 측위 영역을 결정하는데 있어서 본 논문에서는 식 (1)과 (2)를 사용 할 수 있다. 레인징을 기반으로 하지 않는 기존 기법들의 경우 두 전송 반경의 중복 영역을 측위 영역으로 간주하지만<sup>7,10)</sup>, 제안 기법의 경우 중복된 영역의 왼쪽 또는 오른쪽 부분만을 측위 영역으로 간주하게 된다 (그림 1의 예에서는 왼쪽 부분). 그렇기 때문에 제안 기법은 임의의 노드와 이웃하는 앵커 노드들 간의 정확한 거리를 알지 못해도 RSS 비교를 통해 정확도면에서 좋은 성능을 가질 수 있다.

이웃 앵커 노드의 수  $N_a$ 가 세 개 또는 그 이상의 경우, 본 논문의 제안 기법은 무선측위를 위해 세 개

의 이웃 앵커 노드만을 선택한다. 이러한 세 개 이웃 앵커 노드들의 경우 측위 영역을 그림 2와 같이 나타낼 수 있다. 세 개의 앵커 노드에서도 중복 영역이 형성되고 RSS 비교를 통하여 중복 영역 내의 6개의 영역 중 임의의 노드를 가지는 측위 영역을 알 수 있게 된다. 제안 기법에서는 넓은 중복 영역을 모두 고려해야 할 필요 없이 좁은 측위 영역만을 고려하여 측위를 할 수 있어 정확도를 향상 시킬 수 있다. RSS 비교를 기반으로 하여 측위 영역을 결정하고 임의의 노드의 위치를 결정하는 제안 기법에 대해서는 다음 절에서 설명한다.

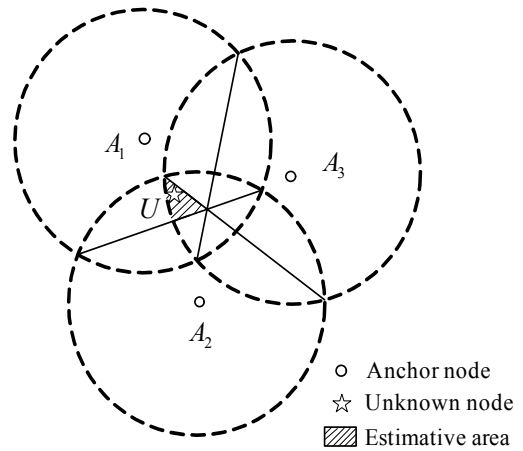


그림 2. 세 개의 이웃 앵커 노드에서의 측위 영역

### 2.3 제안 기법의 위치 추정

제안 기법은 RSS 비교 기능과 앵커 노드들의 전송 반경, 그리고 이웃 앵커 노드들의 위치만을 이용하여 각각의 노드들의 위치를 알아낸다. 이 기법은 아래와 같이 네 단계로 분류 할 수 있다.

#### 제 1 단계

각 앵커 노드들은 자기 위치와 자신의 정보가 포함된 신호를 브로드캐스트 (Broadcast) 하고 이 때 임의의 노드는  $N_a$ 개의 이웃 앵커 노드들로부터의 신호만을 수신하게 된다.

(1) 만약  $N_a = 0$  이면, 임의의 노드는 적어도 한 개의 이웃 노드가 자신의 위치를 추정할 때까지 기다려야 한다. 여기서 이 이웃 노드를 앵커 노드로 간주한다. 다음으로 임의의 노드는 첫 번째 단계를 다시 반복한다.

(2) 만약  $N_a = 1$  이면, 임의의 노드의 추정된 위치는 이웃 앵커 노드의 위치이다.

(3) 만약  $N_a = 2$  이면, 두 개의 앵커 노드를  $A_1$  와  $A_2$ 로 간주한다. 앞서 설명한 바와 같이, 만약  $RSS_1 > RSS_2$  이면 측위 영역은  $A_2$ 보다  $A_1$ 에 가까운 위치에 있는 중복 영역에 있게 된다. 하지만 이러한 측위 영역은 간단한 계산만을 할 수 있는 센서 노드들이 처리하기에는 매우 복잡하다. 그러므로 제안 기법에서는 측위 영역을 제한하기 위해 그림 3에서와 같이 “측위 사각형 (Estimative Rectangle)”을 만들어 이의 중간 지점을 추정된 위치로 간단히 결정한다.

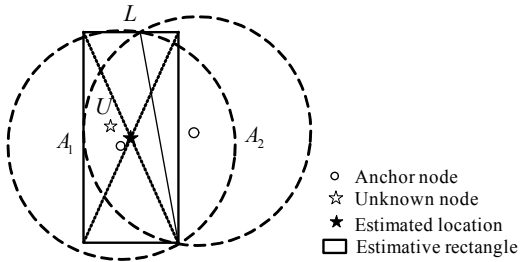


그림 3. 두 개 이웃 앵커 노드의 경우에 대한 측위 영역

(4) 만약  $N_a \geq 3$  이면, 임의의 노드는 이웃하는 3 개 앵커 노드들의 모든 조합에 대한 모든 전송원 (Transmission Circle)들로부터 중복 영역을 결정한다. 문제를 간단히 하기 위해, 임의의 노드는 그림 4(a)에서와 같이 중복된 영역을 모두 포함하여 외접하는 “중복 사각형 (Overlapping Rectangle)”을 만든다. 특히, 각 앵커 노드들로 인해 만들어 지는 중복 사각형 중에

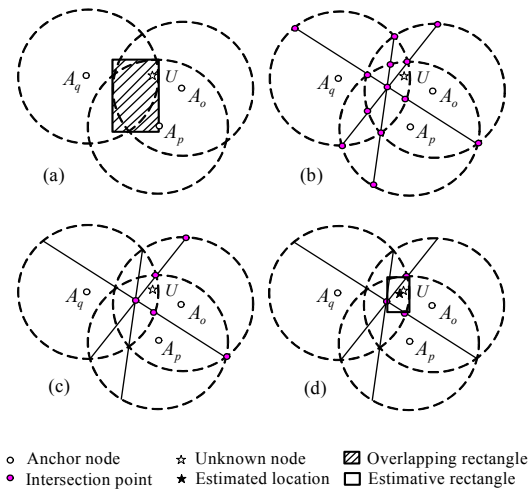


그림 4. 세 개 이웃 앵커 노드의 경우에 대한 제안 기법의 위치 추정 절차: (a) 제 1 단계 (b) 제 2 단계 (c) 제 3 단계 (d) 제 4 단계

서 가장 작은 중복 사각형을 가지는 세 개 앵커 노드들  $\{A_o, A_p, A_q\}$  ( $1 \leq o < p < q \leq N_a$ )을 선택하게 된다. 이 경우 일반성을 잃지 않고 아래의 식 (3)과 같은 부등식을 가정할 수 있다.

$$RSS_o > RSS_p > RSS_q \quad (3)$$

제 2 단계

각 임의의 노드는 그림 4(b)와 같이 교차점을 결정한다. 여기서 교차점들은 세 종류로 분류될 수 있다. 첫 번째로는, 앵커 노드들  $\{A_o, A_p, A_q\}$ 의 세 개의 전송원들의 교차점들이 있다. 두 번째로는, 두 개 앵커 노드들의 전송원들의 교점을 이은 직선에 대한 직교 이등분선과 나머지 하나 앵커 노드 전송원과 교차점들이 있다. 세 번째로는, 세 개의 직교 이등분선들의 하나의 교차점, 즉  $\{A_o, A_p, A_q\}$ 을 잇는 삼각형에 대한 외접원의 외심 (Circumcenter)이 있다.

제 3 단계

제 2 단계에서 결정된 교차점들에서 그림 4(c)와 같이 교차점 집합  $\{X_j\}_{1 \leq j \leq N_x}$ 을 선택한다. 이 때,  $N_x$ 는 아래의 식 (4)를 만족하는 교차점의 개수를 의미한다.

$$d_{jo} \leq d_{jp} \leq d_{jq} \quad (4)$$

여기서  $d_{jo}, d_{jp}, d_{jq}$ 는 교차점  $X_j$ 에서 세 개의 앵커 노드  $A_o, A_p, A_q$ 까지의 거리를 각각 의미한다.

제 4 단계

제 3 단계에서 결정된 교차점 집합  $\{X_j\}_{1 \leq j \leq N_x}$ 로부터 제 1 단계에서의 중복 사각형 안에 존재하는 유효한 교차점들을 찾는다. 이후, 그림 4(a)에서 만들어진 큰 사각형의 범위를 넘어서는 교차점들은 제거한 후 남아있는 교차점들을 이용하여 측위 사각형을 만든다. 최종적으로, 임의 노드의 위치는 그림 4(d)와 같이 측위 사각형의 중간점으로 결정한다.

III. 모의실험 결과

본 논문에서는 제안 기법의 성능 분석을 위해 CPE (Convex Position Estimation) 기법<sup>[10]</sup>과의 비교를 하고자 한다. CPE 기법은 중앙집중식 기법으로서, 임의의 노드에서 센서 노드의 신호를 수신 했을 때 임의의

노드 위치가 그 센서 노드의 전송 범위 안에 있다고 판단하는 기법이다. 또한, 임의의 노드가 한 개 이상의 센서 노드들로부터 신호를 받는다면 이 임의의 노드 위치는 센서 노드들의 전송반경에 중복되는 영역 내에 있다고 판단하게 된다. 이러한 CPE 기법은 센서 노드의 위치와 전송 범위에 의해 임의의 노드의 위치가 추정된다. 본 논문의 제안 기법과 CPE 기법과의 가장 큰 차이점은 RSS 비교의 유무라고 할 수 있다.

무선 센서 네트워크 응용 분야에서 넓은 영역의 위치 측정을 제공하기 위해서는 센서들의 배치가 매우 중요하다. 일반적으로 넓은 지역에서의 위치 추정은 센서들의 위치를 임의적으로 배치하는 경우가 많다. 이에 따라, 모의실험에서는  $\Pi$  절에서의 가정을 기반으로 하여 한 면의 길이가  $10R$ 인 정사각형의 영역에  $N$  개의 센서 노드를 임의의 지점에 배치한다. 또한, 성능 지표로서 임의의 노드의 실제 위치와 예측 위치의 평균 거리 오차 (Mean Distance Error; MDE)를 아래와 같이 계산한다.

$$MDE = \frac{1}{N-M} \sum_{k=1}^{N-M} \sqrt{(x_k - \hat{x}_k)^2 + (y_k - \hat{y}_k)^2} \quad (5)$$

여기서  $(x_k, y_k)$ 와  $(\hat{x}_k, \hat{y}_k)$ 는 2차원 평면상에서 임의의 노드  $k$ 의 실제 위치와 예측 위치를 각각 나타낸다.

그림 5는 전체 센서 노드들 가운데 앵커 노드들의 비율에 따른 MDE의 변화를 보여준다. 여기서 센서 노드들의 수는  $N=300$ 으로 고정하고 앵커 노드들의 수를 조절하였다. 그림 5에서 보는 바와 같이, 제안 기법은 측위 범위를 최소화하기 때문에 CPE 기법에서 보다 더 정확한 성능을 획득하게 된다. 평균 거리 오차가  $0.3R$ 에서, 제안 기법의 경우 전체 센서 노드 가운데 40%의 앵커 노드가 필요한 반면 CPE 기법의 경

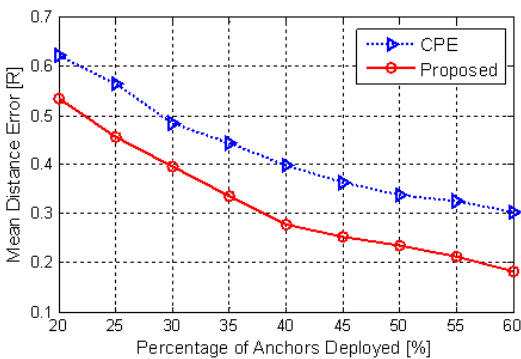


그림 5. 앵커 노드 배치 비율에 대한 MDE 비교

우 60%의 앵커 노드가 필요하게 된다. 제안 기법은 RSS 비교 연산을 수행해야 하지만, 레인징을 기반으로 하지 않는 다른 무선측위 기법에서 요구되는 고가의 GPS가 설치된 앵커 노드들의 사용을 줄일 수 있어 저비용의 장점을 가지게 된다. 또한, 추가적으로 더 많은 수의 앵커 노드들이 배치되면 제안 기법은 CPE 기법보다 더욱 좋은 성능을 가질 수 있게 된다.

그림 6은 제안 기법과 CPE 기법의 안정도를 비교하기 위해 두 기법의 MDE 범위를 보여준다. 이 결과를 얻기 위해 그림 5의 결과를 얻기 위한 모의실험 파라미터들과 동일한 값들을 이용하였다. MDE 범위는 MDE의 최소값에서 최대값까지의 범위로 정의되며, 충분한 횟수의 다수 모의실험의 결과로 얻는 MDE값들을 측정함으로써 계산된다. 그림에서 보는 바와 같이, 제안 기법의 MDE 범위는 CPE 기법보다 크게 향상되고 (58%~78% 감소), 이는 제안 기법이 CPE 기법에 비해 보다 안정적인 무선측위가 가능하다는 것을 보여준다.

그림 7에서는 전체 노드 개수 대비 앵커 노드의 비율을 30%로 고정하고, 센서 노드 개수  $N$ 의 변화에 따른 MDE 성능을 보여주고 있다. 여기서 알 수 있듯이, 노드의 밀도가 낮을 때 (센서 노드의 수가 225개 보다 적을 때) 두 성능 곡선 사이의 차이는 작게 나타나지만 센서 노드의 수가 증가함에 따라 그 차이는 점점 커짐을 알 수 있다. 그림 7에서 나타나는 것처럼 노드의 개수가 400개 일 때는 제안 기법이 CPE 기법의 성능에 비해 25% 가량 더 좋음을 알 수 있다. MDE=0.4R에서 CPE 기법은 센서 노드의 개수  $N=390$ 개가 필요한 반면에 제안 기법의 경우 300개의 센서 노드만이 필요하게 된다. 이것은 제안 기법이 CPE 기법보다 적은 개수의 센서 노드를 사용하면서도 CPE 기법과 동일한 성능을 유지한다는 것을 의미

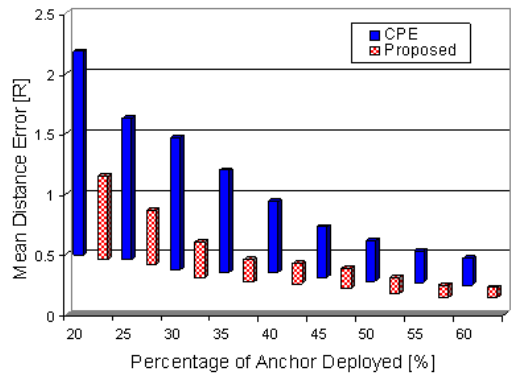


그림 6. 앵커 노드 배치 비율에 대한 MDE 범위 비교

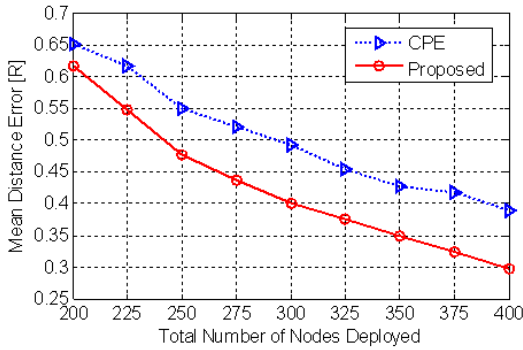


그림 7. 총 노드 개수에 대한 MDE 비교

한다.

### V. 결 론

본 논문에서는 무선 센서 네트워크 환경에서 간단한 분산처리 방식의 무선측위 기법을 제안하였다. 제안 기법은 레인징을 기반으로 하지 않는 (Ranging-free) 측위 기법으로서, 무선측위의 정확도 향상과 복잡도 감소를 위해 각 앵커 노드의 RSS 비교를 기반으로 한다. 또한, 각 임의의 센서 노드에서 자신의 위치를 계산을 수행하게 되어 중앙 계산 장치가 별도로 필요하지 않게 되고 각각의 앵커 노드 또는 임의의 노드는 그 자신의 위치 정보만을 브로드캐스트 하게 되어 에너지 효율 측면에서도 장점을 가지게 된다. 본 논문의 모의실험에서는 제안 기법과 기존의 CPE 기법의 평균 거리 오차와 평균 거리 오차 범위에 대해 비교하였다. 모의실험 결과, 본 논문에서 제시된 RSS 비교 기반의 무선측위 기법은 기존의 CPE 기법에 비해 비용적인 측면에서 뿐만 아니라 무선측위 성능과 안정성에서도 우수함을 보였다.

### 참 고 문 헌

[1] 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 Proc. Mag.*, Vol.22, No.4, pp.54-69, July 2005.

[2] Y. Wang, X. Wang, D. Wang, and D.P. Agrawal, "Range-free localization using expected hop progress in wireless sensor networks," *IEEE Trans. Parallel Distributed Syst.*, Vol.20, No.10, pp.1540-1552, Oct. 2009.

[3] H. Karl and A. Willig, *Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks*, Ch. 2, John Wiley & Sons, 2005.

[4] D. Niculescu and B. Nath, "Ad-hoc positioning system," *Proc. IEEE Globecom 2001*, Vol.5, pp.2926-2931, San Antonio, USA, Nov. 2001.

[5] Y. Shang and W. Ruml, "Improved MDS-based localization," *Proc. IEEE Infocom 2004*, Vol.4, pp.2640-2651, Hong Kong, China, Mar. 2004.

[6] T. He, C. Huang, B. Lum, J. Stankovic, and T. Adelhazer, "Range-free localization schemes for large scale sensor networks," *Proc. ACM MobiCom 2003*, pp.81-95, San Diego, USA, Sept. 2003.

[7] V. Vivekanandan and V. W. S. Wong, "Concentric anchor beacons localization algorithm for wireless sensor networks," *IEEE Trans. Vehicular Technol.*, Vol.56, No.5, pp. 2733-2744, Sept. 2007.

[8] N. Bulusu, J. Heidemann, and D. Estrin, "GPS-less low cost outdoor localization for very small devices," *IEEE Personal Commun.*, Vol.7, No.5, pp.28-34, Oct. 2000.

[9] K.-F. Ssu, C.-H. Ou, and H. C. Jiau, "Localization with mobile anchor points in wireless sensor networks," *IEEE Trans. Vehicular Technol.*, Vol.54, No.3, pp.1187-1197, May 2005.

[10] L. Doherty, K. Pister, and L. Ghaoui, "Convex position estimation in wireless sensor networks," *Proc. IEEE Infocom 2001*, Vol.3, pp.1655-1663, Anchorage, USA, Apr. 2001.

관 트 령 (Quan T. Hoang)

준회원



2009년 베트남 HCMUS Information Technology 학사  
 2009년~현재 숭실대학교 정보통신공학과 석사과정  
 <관심분야> 무선 통신 시스템, 무선 센서 네트워크 및 무선측위

르 나 탄 (Tan N. Le)

준회원

신 요 안 (Yoan Shin)

중신회원

한국통신학회논문지 Vol.35, No.1 참조

한국통신학회논문지 Vol.34, No.1 참조

김 종 호 (Jongho Kim)

준회원



2008년 숭실대학교 정보통신  
전자공학부 학사

2009년~현재 숭실대학교 정보  
통신공학과 석사과정

<관심분야> 무선 통신 시스템,  
UWB 레인징 및 무선측위