무선 전파특성을 고려한 협력 위치추정 알고리즘 성능분석

정승희* · 오창헌**

Performance Analysis of Cooperative Localization Algorithm
Considering Wireless Propagation Characteristics

Seung-heui Jeong* · Chang-heon Oh**

요 약

본 논문에서는 실내외 무선 센서네트워크 환경에서 전파특성을 고려한 수신신호세기 기반의 협력 위치추정 알고리즘을 제안하고 이에 대해 성능을 분석하였다. 기존의 수신신호세기 기반의 위치추정 기법은 장애물 등 전파환경에 따라 신호세기가 불안정하여 낮은 위치추정 신뢰도를 보였다. 이러한 불안정한 전파환경을 극복하기 위해 본 논문에서는 광선발사법을 통해 도출된 전파특성 요인을 제안하는 협력 위치추정 알고리즘에 반영하였다. 또한 협력 위치추정 알고리즘의 성능평가를 위해 4개의 가상공간에 고정위치를 알고 있는 4개의 Zigbee 노드와 위치를 알지 못하는 미지의 Zigbee 노드 5개를 배치하여 실험하였다. 실험결과, NLCA의 경우 2m-3.5m 오차를 보였으나 본 논문에서 제안하는 CLA/ECLA의 경우는 1.3m-2.5m/0.5m-1.2m로 선형적인 성능개선을 보였다. 그러므로 전파특성 요인이 고려되었을 경우 기존의 수신신호세기 기반 위치추정 방식에 비해 본 논문에서 제안하는 협력위치추정 방식이 보다 효율적임을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, we proposed and analyzed a RSSI based cooperative localization algorithm considering wireless propagation characteristics in indoor and outdoor environments for wireless sensor networks, which can estimate the BN position. The conventional RSSI based estimation scheme has low precision ranging due to instability propagation characteristics by time variable. Hence, we implemented ray-launching simulator for analysis of propagation characteristics in 4 case, and experimented proposed localization scheme with 4 RN and 1 to 5 BN. Simulation results show that NLCA has estimation error as 2m-3.5m, however, proposed CLA/ECLA has 1.3m-2.5m/0.5m-1.2m by same environments. Therefore, if we can consider channel characteristics, the proposed algorithm provides higher localization accuracy than RSSI based conventional one.

키워드

협력위치추정, 광선발사법, 수신신호세기, 전파특성

Key word

Cooperative localization, Ray-launching, RSSI, Propagation characteristic

* 한국기술교육대학교 전기전자공학과 (주저자, maju9797@kut.ac.kr) 접수일자 : 2010. 05. 28
** 한국기술교육대학교 정보기술공학부 (교신저자, choh@kut.ac.kr) 심사완료일자 : 2010. 05. 28

I. 서 론

무선 센서네트워크에서 센서의 본래 목적인 주변 환경의 감지기능은 센싱된 정보의 전달에 국한되는 것이 아니라 궁극적으로 응급 상황 발생장소 또는 문제가 해결되어야 할 장소의 안내로 이어져야 한다. 결국 센서가 응급 정보를 감지하여 송신되더라도 정확한 위치 정보가 파악되지 못하면 응급 정보는 무의미한 정보로 남을 것이므로 신뢰성 있는 위치 정보의 제공은 무선 센서 네트워크에서 필수적이며, 반드시 요구되는 기술이다 [1]-[3].

대표적인 측정기반 위치추정 기술 중 RSSI(received signal strength indicator) 위치추정 기술은 구현이 간단하고 비용대비 효율적인 위치추정 방식이나 시변적인 전파의 영향으로 인해 수신신호세기가 불안정하므로 결국 여타 위치추정 기술에 비해 그 정밀도가 현저히 떨어진다. 그러나 위치추정 대상의 전파환경 및 특성을 파악하여 이를 RSSI 위치추정에 적용한다면 채널의 악영향을 상대적으로 보상할 수 있으며, RSSI의 최대 약점인 수신신호 세기에 대한 보상을 통해 신뢰성이 있는 위치추정이 가능할 것이다. 본 논문에서는 시변적인 채널의 특성을 파악하기 위해 광선발사법을 이용하여 사전에 전파특성을 분석하고 이를 협력 위치추정 알고리즘(CLA: cooperative localization algorithm)에 반영하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 광선발사법을 이용한 전파특성을 분석하고 III장에서 제안하는 협력 위치추정 알고리즘을 설명한다. IV장에서는 전파특성을 고려한 위치추정 성능을 분석한다. 마지막으로 V장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 광선발사법을 이용한 전파특성

2.1 광선발사법 구현

광선발사법은 송신 안테나로부터 등간격의 신호를 발사한 뒤 각각의 신호를 추적하여 수신점에 도달하는 신호의 경로를 찾는 방식으로써 수신 안테나에 도착하는 신호의 경로뿐 아니라 도달하지 않는 신호의 경로까지도 모두 검색해야 하는 단점이 있으나 임의의 건물 모

양이나 실내의 복잡한 구조의 환경에서도 해석이 가능하다는 장점이 있다[4]. 또한 광선발사법을 포함한 결정론적인 무선 전파 예측 모델링 기법은 마이크로 셀과 실내 환경에서 경로 손실을 정확하게 예측할 수 있는 방법으로 이용되고 있다. 특히 광선발사법은 기존의 통계적 방법에 비해 더 정확한 결과를 얻을 수 있을 뿐만 아니라 RMS(root mean square) delay spread와 같은 무선 시스템을 설계하는데 요구되는 정확하고도 결정론적인 전파 모델을 만들어낼 수 있다[4]. 그림 1은 13.65m×8.7m 크기의 가상 실내 공간에서 광선발사법을 이용하여 전파 특성을 분석한 예이다.

그림 1. Delay profile 및 도착각도 예
Fig. 1. Example of delay profile and angle of arrival.

2.2 광선발사법 실험 결과

시뮬레이션 결과 발사간격이 10° 인 경우 2에서 12개의 신호가 수신되었다. 각각의 신호는 0.2×10^{-7} 에서 1.8×10^{-7} 의 도착시간 지연을 보이고 있으며, 수신기에서는 신호의 도착 시간이 짧을수록 가시거리 환경에서 수집된 전파로 가정할 수 있다. 이후에 도착된 신호들은 벽면의 반사등을 통해 다중경로로 수신된 신호로 판단된다. 이를 통해 전파의 지연시간은 큰 차이가 없으나 벽면 등의 반사를 통해 RSSI가 감소되므로 본 논문에서는 위치 추정시 고려해야 할 전파특성의 요인을 분석하기 위해 CC2431 RF칩의 규격을 토대로 RSSI를 식 (1)과 같이 정의하였다.

$$L_x = L_0 + 10\alpha_x \log_{10}(d_{tr}) + \eta_x \quad (1)$$

여기에서 L_x 는 dB 스케일의 경로손실이고 L_0 는 기준거리(1m)에서의 경로손실이다. α_x 는 전파상수, d_{tr} 는 송신기와 수신기 사이의 전파전달 거리이며, 예측 불가능한 측정 노이즈를 위해 평균이 0이고 분산이 σ 인 가우시안 랜덤변수를 η_x 로 정의하였다. 그림 2는 광선발사법을 통해 분석한 거리에 따른 수신신호 세기이다.

그림 2. 거리에 따른 RSSI curve fitting
Fig. 2. Curve fitting of RSSI according to distance.

III. 전파특성이 고려된 협력 위치추정 알고리즘 성능

3.1 협력위치추정 알고리즘(CLA)

일반적으로 RN(reference node)들의 좌표는 알려져 있다. 그러므로 임의의 BN(blind node)들이 존재할 것으로 예상되는 영역을 추정할 수 있다. 식 (2)는 BN의 추정 오차 거리를 나타낸다.

$$f_i(x_0, y_0) = d_i - \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2}. \quad (2)$$

d_i 는 BN과 i 번째 RN 사이의 거리이며, BN의 좌표는 x_0, y_0 이고 x_i, y_i 는 i 번째 RN의 좌표이다. 이때 $f_i(x_0, y_0)$ 는 실제 거리와 추정된 거리의 오차로서 만일 이상적인 환경에서 RSSI를 거리로 변환한다면 $f_i = 0$ 이 된다. 식 (2)을 양변에 제곱하여 전개하면 식 (3)과 같다.

$$d_i^2 - (x_i^2 + y_i^2) = (x_0^2 + y_0^2) - 2(x_0 x_i + y_0 y_i). \quad (3)$$

위치를 추정하기 위해서는 최소 3개의 RN 좌표가 사용되며, 각 RN의 좌표를 대입하여 연립하면 식 (4), 식 (5)와 같이 BN의 좌표를 도출할 수 있다.

$$X = 2 \begin{bmatrix} x_n - x_1 & y_n - y_1 \\ \vdots & \vdots \\ x_n - x_{n-1} & y_n - y_{n-1} \end{bmatrix}, \quad b = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

$$y = \begin{bmatrix} (d_1^2 - d_n^2) - (x_1^2 - x_n^2) - (y_1^2 - y_n^2) \\ \vdots \\ (d_{n-1}^2 - d_n^2) - (x_{n-1}^2 - x_n^2) - (y_{n-1}^2 - y_n^2) \end{bmatrix}.$$

$$y = bX, \Rightarrow b = (X^T X)^{-1} X^T y. \quad (5)$$

그림 3과 같이 획득된 BN의 영역은 BN이 위치할 것으로 예상되는 영역일 뿐 실제 BN의 좌표는 아니므로 BN의 정밀한 좌표 추정을 위해 존재 가능한 영역을 더욱 축소할 필요가 있다[5].

그림 3. RN을 이용한 BN의 영역 추정
Fig. 3. Estimation for area of BN with RN.

그림 4에서 황색으로 표시된 영역은 BN 영역을 이용한 CLA의 결과를 나타내고 있으며, 붉은색은 추정영역에서 제거된 영역이다. 그러므로 BN의 존재 가능한 영역은 더 축소된다[6].

그림 4. BN의 협력적으로 이용한 영역 축소
Fig. 4. Mitigation area using cooperation of BN.

마지막으로 협소화된 영역의 무게 중심점(center of gravity)을 BN의 좌표로 추정한다. 식 (6)의 $I_{i,j}$ 는 해당 BN이 존재할 것으로 예상되는 중첩된 영역을 나타낸다.

$$I_{i,j} = C_i \cap C_j \{i, j | 1..n, i \neq j\}. \quad (6)$$

여기서 C_i 과 C_j 는 각 BN의 영역으로 CLA를 거쳐 축소된 영역이 결정되었으면 BN이 존재할 것으로 예상되는 영역의 면적은 식 (7)로 산출할 수 있다.

$$A = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{N-1} (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i). \quad (7)$$

여기서 x_i 와 y_i 는 CLA를 통해 산출된 영역의 각 모서리 좌표이다. 따라서 식 (8)에서 중첩 영역의 x_i, y_i 를 모서리 개수와 면적의 곱인 $N \times A$ 로 나누면 면적에 대한 중심 좌표를 도출해 낼 수 있다. BN_x, BN_y 는 BN의 추정된 최종 좌표를 의미한다[7].

$$BN_x = \frac{1}{NA} \sum_{i=0}^{N-1} (x_i + x_{i+1})(x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i) \quad (8)$$

$$BN_y = \frac{1}{NA} \sum_{i=0}^{N-1} (y_i + y_{i+1})(x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i).$$

3.2 CLA 순서도

그림 5는 앞에서 기술한 CLA의 순서도이다. 초기단계에서 수집된 RSSI 정보는 실시간 위치추정 서버와 데이터 저장소로 전송되어 데이터의 저장과 동시에 거리로 환산된다.

그림 5. 제안하는 협력위치추정 알고리즘의 순서도
Fig. 5. Flow chart of proposed CLA.

위치추정 서버는 환산된 거리정보를 바탕으로 RN과 BN의 위치를 추정한다. 각 RN에서 수집된 거리정보를 통해 1차로 중첩영역을 도출하고 BN 영역끼리 RSSI 정보를 협력적으로 활용하여 2차 중첩영역을 계산한다. 모든 과정은 반복적으로 수행되며 더 이상 축소 영역이 발생하지 않는 경우 식 (8)과 같이 축소된 영역의 무게 중심점을 BN의 추정 좌표로 산출한다. 본 논문에서는 실제 RSSI 데이터의 신뢰성 향상을 위해 데이터 저장소의 누적 데이터 평균값과 비교 후 거리 정보로 변환되도록 설계하였다.

3.3 보완된 CLA

CLA가 적용되지 않는 일반적인 삼변측량 기반의 RSSI 위치추정 방식을 NCLA(none CLA)라 하면 제안하는 CLA는 RN에 의존적인 기존의 RSSI 기반 위치추정에서 BN 끼리의 RSSI 정보까지 확장된 개념이다. BN 영역끼리의 중첩은 BN의 수가 증가할수록 주변 BN의 영역을 협력적으로 활용할 수 있으므로 BN이 존재할 것으로 예상되는 영역은 더욱 협소해지게 된다. 그러나 부정확한 또는 불안정한 상태의 RSSI 정보는 추정된 영역의 크기를 확대함으로써 위치추정의 오차를 증가시키게 된다. 따라서 보다 정확한 RSSI 모델이 필요하고 이를 기반으로 BN끼리의 영역을 협력적으로 교차해야 한다.

본 논문에서는 CLA에 대한 보완 알고리즘이 적용된 ECLA(enhanced CLA)를 설계하였다. CLA에서 추정된 좌표는 초기 영역 설정을 위한 좌표이다. 그러므로 정확한 좌표 보다는 근사적인 좌표에 불과하다. 그러나 초기 좌표의 정밀도 향상은 궁극적으로 전체 위치추정 정밀도를 향상시키게 된다. 이러한 초기좌표 정확성에 영향을 미치는 요인은 시변적인 L_0 와 α_x 값을 평균값으로 활용할 때 발생한다. 이는 거리에 따른 RSSI 추정 그래프인 curve fitting에 연쇄영향을 주게 되므로 잘못된 거리를 도출하게 되는 악순환이 일어난다. 따라서 실시간 적응형 L_0 와 α_x 값 산출이 필요하다. 이를 위해 ECLA에서는 실시간 L_0 값을 획득할 수 있도록 sink 노드와 임의의 RN을 1m 이내의 기준거리에 배치시켰으며, 이를 활용하여 α_x 값도 실시간으로 도출하여 거리 계산에 반영하였다.

3.3.1 L_0 가 보완된 CLA

CLA의 보완을 위해 본 논문에서는 광선발사법을 이용하여 실험한 신호를 토대로 기준거리 RSSI인 L_0 를 curve fitting 하였고 거리에 따른 전파상수 α_x 와 실측된 L_0 를 반영했을 때 산출된 α_x 를 비교하여 거리에 따른 RSSI 차를 실시간으로 보상하게 하였다. 실제로 동일한 방향에서 실측한 L_0 일지라도 그림 6과 같이 측정횟수(시간)에 따라 변화폭이 존재하게 된다.

그림 6. 측정 횟수(시간)에 따른 L_0

Fig. 6. Value of L_0 according to measurement time.

그러므로 기준거리 RSSI인 L_0 의 실시간 반영은 전파의 특성을 능동적으로 적용하여 보다 정밀한 경로손실을 예측할 수 있으며, 특히 L_0 측정시 1회성에 그치는 것이 아니라 모든 수신 신호에 대해 매 순간 sequence 별로 L_0 를 측정하기 때문에 주변의 장애물이나 이동 중인 물체에 의한 수신신호의 불안정성을 완화할 수 있다. 따라서 실시간 L_0 의 반영을 위해 본 논문에서는 특정 RN을 1개 선정 후 1m 거리 내에 sink 노드를 위치시키고 실시간으로 L_0 를 측정하여 α_x 산출에 반영하였다.

3.3.2 $g_w(x_n, y_n)$ 가 보완된 CLA

더 이상 축소가 발생하지 않으면 영역의 1개점을 최종 좌표로 도출하는 무게중심 산출과정이다. 무게중심

을 찾기 위해서는 각 모서리의 무게를 합산하여 전체 면적으로 나누어야 한다. 그러나 2차원 평면에서는 모서리의 모든 점이 동일한 무게를 가지므로 가중치 적용이 무의미해진다. 따라서 ECLA에서는 2차원 평면의 무게중심점이라 하더라도 이전의 영역교차 과정에서 수행횟수가 증가할수록 누적 중첩된 모서리 좌표에 가중치를 선형적으로 부여하였다. 이는 협소화 과정 중에 잔존했던 영역이므로 실제 BN이 존재할 확률이 높은 영역으로 판단할 수 있기 때문이다.

일반적으로 2차원 평면상의 n 개의 점 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ 이 있고 각점의 무게가 모두 동일 할 때 무게 중심점 $g_w(x_n, y_n)$ 은 식 (9)와 같다.

$$g_w(x_n, y_n) = \left(\sum_{k=1}^n \frac{x_k}{n}, \sum_{k=1}^n \frac{y_k}{n} \right). \quad (9)$$

따라서 n 개의 모서리 점 $P_1(x_1, y_1), P_2(x_2, y_2), \dots, P_n(x_n, y_n)$ 중에서 $P_i(x_i, y_i)$ 에 m_i 의 가중치가 적용된 중첩영역의 무게 중심점은 식 (10)과 같다. P_1 과 P_2 의 무게중심이 P_1 에서 d_1 만큼 P_2 에서 d_2 만큼 떨어진 점이라고 하면 무게 중심점은 $m_1 \cdot d_1 = m_2 \cdot d_2$ 이므로 P_1 점과 P_2 점을 $m_2 : m_1$ 으로 내분하는 좌표가 되며 식 (10)과 같이 weighted gravity가 적용된 무게 중심점이 된다.

$$g_w(x_{1,2}, y_{1,2}) = \left(\frac{m_1 x_1 + m_2 x_2}{m_1 + m_2}, \frac{m_1 y_1 + m_2 y_2}{m_1 + m_2} \right). \quad (10)$$

중첩된 영역의 모서리 점에 그림 7과 같이 가중치 무게 $g_w(x_n, y_n)$ 가 적용되면 각 점의 무게는 가중치에 따라 달라진다. 그림 7은 중첩된 영역에서 가중치가 적용된 무게중심 산출 개요도이다. 첫 번째 영역과 2번째 영역의 중첩된 영역 중에서 이전 중첩영역에서 사용된 좌표 중 재사용된 좌표는 가중치를 부여받게 된다.

그림 7. 가중치가 적용된 중첩 영역
Fig. 7. Overlapping area with weighted gravity.

그림 8은 제안하는 광선발사법을 통해 산출된 전파특성과 CLA에서 좌표의 가중치를 고려한 ECLA의 순서도이다.

그림 8. 제안하는 ECLA의 순서도
Fig. 8. Flow chart of proposed ECLA.

IV. 협력위치추정 알고리즘 성능

4.1 실험 환경

본 논문에서는 실험 환경 변수로 TI사의 CC2431 chipset을 기준으로 표 1과 같이 설정하였다[8].

표 1. 실험 파라미터
Table 1. Simulation parameters.

Parameters	Value
Sensor field size	Case 1(indoor): X=0-8.7[m], Y=0-13.65[m] Case 2(indoor): X=0-84[m], Y=0-70[m] Case 3(outdoor): X=0-54[m], Y=0-68[m] Case 4(outdoor): X=0-20[m], Y=0-38[m]
Frequency	2.405[GHz] - 2.480[GHz], 5MHz, 16channel
Tx power	0[dBm]
Antenna gain	Tx/Rx: 1
Rx sensitivity	-94[dBm]
Number of RN	4[EA]
RN coordinate	Fixed position (depend on case)
Number of BN	1-5[EA], random distribution
BN coordinate	Random position
Max transmit distance	Outdoor= 64[m]/(spec.), 80[m]/(exp.), 150[m]/(simulation)
Tx/Rx height	Indoor case1: 1.0m, Indoor case2: 0.3m Outdoor case3: 0.3m, Outdoor case4: 1.5m
Reference 1m L_0	50/50-55(random)/60-68(random), (NCLA/indoor(CLA/ECLA)/ outdoor(CLA/ECLA))
Propagation constant α_x	1.5±0.2(random)/1.3±0.2(random)/ 1.8±0.2(random), (NCLA/indoor(CLA/ECLA)/ outdoor(CLA/ECLA))
Measurement noise η_x	0-1 [dBm], (random)

4.2 실험 결과

그림 9는 4개의 서로 다른 환경에서 수행한 NCLA의 시뮬레이션 결과이다. 실험 결과 모든 실험 장소(case 1-4)에서 오차는 약 2m-3.5m로 BN의 증가에 따른 위치 추정 정밀도 향상은 없었다. 이는 삼변측량시 고정된 값의 L_0 와 α_x 를 사용하였기 때문이다. 따라서 일반적인 삼변측량 방식인 NCLA에서는 BN이 증가해도 RN에 의존하는 위치추정 방식이므로 큰 성능의 개선은 나타나

지 않았다.

그림 10은 동일한 환경에서 BN끼리 CLA가 적용된 실험으로 실험결과 BN의 개수가 증가함에 따라 1.3m-2.5m의 오차가 나타남을 확인할 수 있으나 실험에 사용된 L_0 와 α_x 값이 광선발사법을 통해 추정된 L_0 와 α_x 의 범위 내에서 임의값을 선정하여 실험하였으므로 거리에 따른 RSSI 감쇠가 최적으로 반영되지 못하였다. 따라서 BN의 개수가 증가함에 따라 선형적인 위치추정 정밀도는 향상되지만 개선의 변화폭이 L_0 와 α_x 값의 임의추정 방식으로 인해 둔감함을 알 수 있다. 그러나 광선발사법을 통해 산출된 L_0 와 α_x 값을 사용하였기 때문에 이전의 NCLA의 결과에 비해 안정적이며 개선된 위치추정 성능이 나타남을 알 수 있다.

그림 11은 CLA를 통해 추정된 영역에서 x_i, y_i 가 중복해서 사용될 경우 해당 좌표에 가중치를 부여하는 ECLA가 적용된 실험 결과이다. 영역 도출시 사용된 좌표가 모두 새로운 좌표가 될 수 없으며, 기존의 좌표 중 필수적으로 중복하여 사용하게 되는 좌표가 발생하고 이러한 좌표에 가중치를 부여하는 방식이다. ECLA 실험결과 약 0.5m-1.2m의 오차가 발생하였다. 이는 CLA와 유사한 L_0 와 α_x 를 임의 선택하여 사용하였으나 가중치 무게중심이 추가적으로 이용되었기 때문에 CLA에 비해 전체적으로 성능이 향상되었다.

그림 9. BN 개수에 따른 NCLA 성능(case 1-4)
Fig. 9. Performance of NCLA according to the number of BN(case 1-4).

그림 10. BN 개수에 따른 CLA 성능(case 1-4)
Fig. 10. Performance of CLA according to the number of BN(case 1-4).

그림 11. BN 개수에 따른 ECLA 성능(case 1-4)
Fig. 11. Performance of ECLA according to the number of BN(case 1-4).

V. 결 론

RSSI 기반의 위치추정은 비용 대비 효율성 측면에서 유리한 위치추정 방식이라 할 수 있다. 그러나 RSSI 위치추정 방식의 최대 단점인 불안정한 수신신호 세기는 위치추정의 신뢰도를 떨어뜨리는 단점으로 지적된다. 그러므로 본 논문에서는 시변적인 전파환경을 극복하기 위해 광선발사법을 통해 RN과 BN이 존재하는 환경을

사전에 모의 실험하여 위치추정에 적용 가능한 L_0 와 α_x 를 도출하였고 이를 적용한 CLA/ECLA를 제안하여 실험하였다. 실험결과 고정된 값의 L_0 와 α_x 를 사용하는 일반적인 삼변측량 방식인 NCLA에서는 BN이 증가해도 RN에 의존하는 위치추정 방식이므로 큰 성능의 개선은 나타나지 않았다. 그러나 CLA의 경우에는 BN의 개수가 증가함에 따라 성능의 개선이 이루어졌다. 또한 동일한 수의 RN과 BN이 사용된다면 NCLA에 비해 CLA가 우수하고 CLA에 비해서는 보완된 ECLA가 더 우수함을 확인하였다. 이는 RN을 이용하는 초기단계부터 BN의 활용까지 연속해서 가중치 개념이 적용되기 때문이다. 실제 NLCA의 경우엔 약 2m-3.5m 오차를 보였으나 CLA/ECLA의 경우에는 1.3m-2.5m/0.5m-1.2m로 선형적인 성능 개선을 보였다. 그러므로 추가적인 RN 또는 BN이 배치될 경우 본 논문에서 제안하는 CLA/ECLA가 효과적인 성능 개선이 이루어짐을 확인하였다.

참고문헌

- [1] C. Y. Chong and S. P. Kumar, "Sensor networks: evolution, opportunities, and challenges," *Proc. IEEE*, vol. 91, no. 8, pp. 1247-1256, Aug. 2003.
- [2] D. Culler, D. Estrin, and M. Srivastava, "Overview of sensor networks," *IEEE Computer*, vol. 37, no. 8, pp. 41 - 49, Aug. 2004.
- [3] K. Martinez, J. K. Hart, and R. Ong, "Environmental sensor networks," *IEEE Computer*, vol. 37, no. 8, pp. 50 - 56, Aug. 2004.
- [4] K. Pahlavan and A. H. Levesque, *Wireless Information Networks*. 2nd Ed., Wiley-Interscience, 2005.
- [5] X. Li, "Collaborative localization with received-signal strength in wireless sensor networks," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. 56, pp. 3807-3817, 2007.
- [6] Wenping Chen and Xiaofeng Meng, "A cooperative localization scheme for zigbee-based wireless sensor networks," *ICON '06. 14th IEEE International Conference*, vol. 2, pp. 1-5, Sept. 2006.
- [7] K. Aamodt, *CC2420 Location Engine. Application Note AN042(Rev.1.0)*, July 2006.

- [8] Seung-heui Jeong, Chang-heon Oh, "RSS- based cooperative localization algorithm using virtual reference node in wireless sensor networks," *11th International Conference on Advanced Communication Technology(ICAICT 2009)*, vol. 1, pp. 895-900, Feb. 2009.

저자소개

정승희(Seung-Heui Jeong)

2005년 2월: 한국기술교육대학교

정보통신공학과 (공학사)

2007년 2월: 한국기술교육대학교

전기전자공학과 (공학석사)

2007년 3월 ~ 현재: 한국기술교육대학교

전기전자공학과 (박사과정)

※ 관심분야: 무선통신, Ranging/LBS, RFID/USN

오창현(Chang-Heon Oh)

1988년 2월 : 한국항공대학교

항공통신공학과 (공학사)

1990년 2월 : 한국항공대학교 대학원

항공통신정보공학과

(공학석사)

1996년 2월 : 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과
(공학박사)

1990년 2월 ~ 1993년 8월: 한진전자(주) 기술연구소
전임연구원

1993년 10월 ~ 1999년 2월: 삼성전자(주) CDMA 개발팀
선임연구원

1999년 2월 ~ 현재: 한국기술교육대학교
정보기술공학부 교수

2006년 8월 ~ 2007년 7월: 방문교수(University of
Wisconsin-Madison)

※ 관심분야: 이동통신, 무선통신, Wireless Sensor N/W,
CR