

무선 센서네트워크에서 수신신호세기의 유사도를 이용한 위치결정 기법

A Localization Method using Similarity of RSSI in WSN

박찬식¹, 김승범², 강동연¹, 차은종³, 이상정²

¹ 청주시 충북대학교, 충북BIT연구중심대학육성사업단, 전기전자컴퓨터공학부
E-mail: chansp@cbucc.chungbuk.ac.kr

² 대전시 충남대학교 전기정보통신공학부
E-mail: eesjl@cslab.cnu.ac.kr

³ 청주시 충북대학교, 충북BIT연구중심대학육성사업단, 의공학과
E-mail: ejcha@chungbuk.ac.kr

요 약

WSN에서 위치를 구하는 방법으로 WLSQ와 DB를 이용하는 방법이 대표적이다. WLSQ에서는 수신된 RSSI로부터 거리를 구하고 구해진 거리를 이용하여 위치를 구하며, 구해진 위치의 정확도는 측정된 RSSI의 정확도와 이로부터 거리를 구하는 알고리즘에 좌우된다. DB를 이용하는 기법은 DB를 구축하는 방법과 측정된 RSSI와 DB를 비교하는 기법에 따라 정확도가 결정된다. 본 논문에서는 수신된 RSSI와 DB를 비교하여 위치를 구하는 기법의 구현 및 성능을 나타내었으며, WLSQ의 결과와 비교하였다.

Key Words : WSN, RSSI, WLSQ, Similarity

1. 서 론

IT 기반 시설이 없는 곳에서 케이블 비용과 설치 시간을 줄이기 위해 개발된 무선 센서네트워크(WSN: Wireless Sensor Network)는 원하는 장소 혹은 물체의 현재 상태를 감시하고 분석하는 방법을 제공하는 기능을 갖으며 센서와 컴퓨팅(인터넷) 그리고 무선 통신이 융합된 기술이다. 응용분야로는 크게 사물과 공간 모니터링, 이력 관리와 추적, 유비쿼터스 컴퓨팅으로 나눌 수 있다. 여기에 위치와 시간정보가 추가되면 응용분야는 더욱 더 확대될 수 있다. 무선 센서네트워크 기술의 응용분야에 따라 요구하는 위치 정확도는 다를 수 있다. 환자 위치 정확도는 일반적인 방(가로 세로 3m)의 크기 정도면 충분하지만, 청소 로봇의 위치는 이보다 훨씬 정확하게 구해져야 한다. 이런 요구사항을 만족하기 위해서는 무선 센서네트워크 노드의 개발 복잡도가 달라진다. 일반적인 WSN 노드에서 사용하는 무선통신 칩은 수신신호세기(RSSI: Received Signal Strength Indication)를 제공하므로 이를 하드웨어 추가 없이 위치결정에 사용할 수 있는 장점이 있다.

RSSI를 이용한 위치결정 방법[1] 중 신호감쇄모델을 통해 거리를 유도하여 WLSQ(Weighted Least Square)로 위치를 계산하는 방법이 있다. 그러나 이 방법은 실제 신호세기와 거리가 항상 일대일로 매칭되지 않아 위치결정 오차의 원인이 된다. 이를 해결하기 위해 미리 정한 기준지점에서의 수신신호세기 데이터베이스(DB)를 구축하고 위치를 구하고자 하는 노드의 수신신호세기와 가장 유사한 기준지점을 찾아낸다. 기존 연구로 RADAR[2]는 무선헤 수신신호세기를 이용하고 MoteTrack[3]은 802.15.4 수신신호세기를 이용한다.

본 논문은 미리 구축된 DB와 미지의 지점에서 수신된 RSSI의 유사도를 이용한 위치결정 기법을 제시한다. DB를 구축하는 방법에 따른 위치의 정확도를 파악하기 위하여 실험적으로 구한 값을 이용하여 구축한 실험 DB와 실험치로부터 유도된 모델을 이용하는 모델 DB로 구분하여 구축하였다. 또한 WLSQ의 정확도 향상을 위하여, RSSI 대 거리 모델을 하나만 사용한 경우와 각 비컨에 대해 별도의 모델을 사용한 경우로 실험하고 그 결과를 비교하였다.

2. WLSQ를 이용한 위치결정 기법

2.1 거리 결정 방법

WLSQ 위치결정 기법을 적용하기 위해 먼저 RSSI 측정치로부터 거리를 결정해야 한다. 이론적으로는 RSSI는 거리의 제곱에 반비례하지만, 본 논문에서는 거리의 변화가 크지 않은 범위에서 사용하므로 RSSI와 거리의 관계를 1차로 가정하고 $RSSI = a \cdot range + b$ 의 관계를 이용하였다[4]. 정확히 알고 있는 거리에서 RSSI를 측정하고 이를 이용하면 a, b 를 구할 수 있다. 따라서 RSSI 측정치를 (1)에 대입하여 거리를 추정할 수 있다.

$$range = (RSSI - b) / a \quad (1)$$

2.2 WLSQ 적용

모든 노드가 같은 평면 위에 존재하는 경우 WLSQ를 이용해서 위치를 구하는 과정은 다음과 같다. 먼저 알고 있는 비컨 노드 B_i 의 위치와 구하고자 하는 노드 N_j 의 위치를 다음 식 (2), (3) 으로 표시하자.

$$B_i = (X_i, Y_i)^T \quad (2)$$

$$N_j = (x_j, y_j)^T \quad (3)$$

측정된 수신신호세기를 이용하여 구한 거리는 식(4)와 같이 표현 할 수 있다. 여기서 ϵ_{ij} 는 측정된 거리에 포함된 오차를 나타낸다.

$$R_{ij} = \sqrt{(X_i - x_j)^2 + (Y_i - y_j)^2} + \epsilon_{ij} \quad (4)$$

식(4)를 선형화하면 식(5)을 얻는다.

$$\Delta R = H \Delta x + \epsilon \quad (5)$$

여기서

$$\Delta R = \begin{bmatrix} R_{1j} - \sqrt{(X_1 - x_j)^2 + (Y_1 - y_j)^2} \\ \vdots \\ R_{nj} - \sqrt{(X_n - x_j)^2 + (Y_n - y_j)^2} \end{bmatrix} \Delta x = \begin{bmatrix} \delta x \\ \delta y \end{bmatrix} \epsilon = \begin{bmatrix} \epsilon_{1j} \\ \vdots \\ \epsilon_{nj} \end{bmatrix} \sim N(0, Q)$$

$$H = \begin{bmatrix} \frac{X_1 - x_j}{\sqrt{(X_1 - x_j)^2 + (Y_1 - y_j)^2}} & \frac{Y_1 - y_j}{\sqrt{(X_1 - x_j)^2 + (Y_1 - y_j)^2}} \\ \vdots & \vdots \\ \frac{X_n - x_j}{\sqrt{(X_n - x_j)^2 + (Y_n - y_j)^2}} & \frac{Y_n - y_j}{\sqrt{(X_n - x_j)^2 + (Y_n - y_j)^2}} \end{bmatrix}$$

식(5)에 WLSQ를 적용하면 위치는 식(6)으로 공분산은 식(7)로 구할 수 있다.

$$\Delta x = (H^T Q^{-1} H)^{-1} H^T Q^{-1} \Delta R \quad (6)$$

$$cov(\Delta x) = (H^T Q^{-1} H)^{-1} \quad (7)$$

여기서 모든 노드에 대한 수신신호세기 측정오차가 같다면, $Q = \sigma^2 I$ 가 되고 구해진 위치의 공분산은 $cov(\Delta x) = \sigma^2 (H^T H)^{-1}$ 가 된다.

2.3 WLSQ 실험결과

수신신호세기 측정치를 획득하기 위해 Crossbow 사의 MICAz 개발용 플랫폼 MOTE-KIT2400CB을 사용했다[5]. 실험은 충북대학교 교육관 옥상에 그림2와 같이 2m 간격의 7x7 노드를 구성하였다. 그림3에 비컨을 제외한 5개의 대각선 노드에서 각 비컨에 대한 RSSI 데이터를 30개씩 획득하여 그 평균값을 나타내었다.

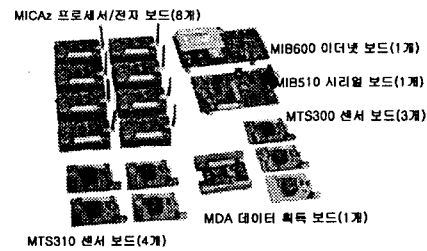


그림 1. 실험장비.

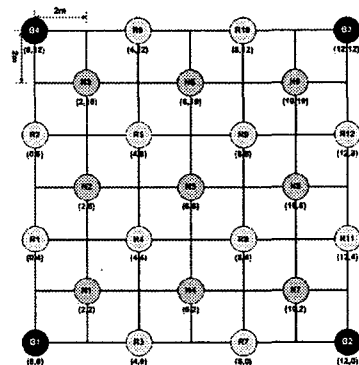


그림 2. 테스트베드.

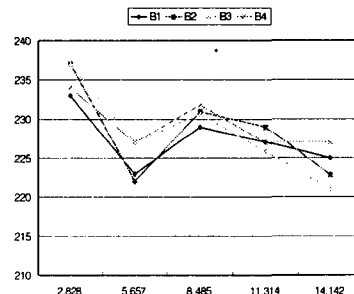


그림 3. RSSI vs. 거리.

표 1. 수신신호세기 대 거리 관계식 (b = 245).

	비컨1	비컨2	비컨3	비컨4	공통
a	-1.7742	-1.7420	-1.8229	-1.5994	-1.7346

표 2. WLSQ를 이용한 위치결정 오차 크기.

	별도 모델	공통 모델
RMS[m]	3.0578	3.1606

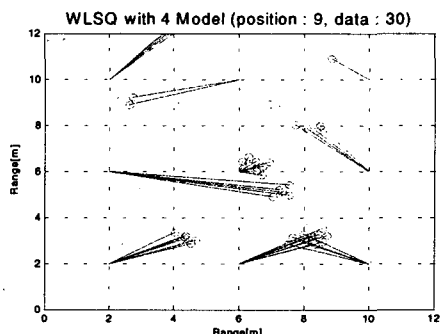


그림 4. WLSQ 위치결정 결과(별도 모델).

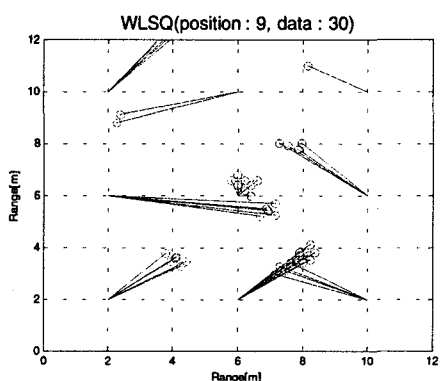


그림 5. WLSQ 위치결정 결과(공통 모델).

위 실험 데이터를 바탕으로 2.1절에서 제시한 방법으로 구한 RSSI와 거리와의 관계는 표 1과 같다. 9개의 노드 N1~N9에서 WLSQ 기법을 이용한 위치결정 결과는 표2와 그림 4, 5와 같다. 여기서 별도모델은 각 비컨에 대하여 별도로 RSSI와 거리의 관계를 구하여 사용하고, 공통모델은 모든 측정치를 이용하여 구해진 RSSI와 거리의 관계를 사용한다. 그림 4,5에서 N1의 참값은 (2,2)이지만 두 경우 (4,4)부근에서 해가 구해짐을 볼 수 있다. 전체 위치 오차의 RMS 값은 표2에서 보는 바와 같이 별도모델을 사용하는 경우가 약 10cm 나은 결과를 주며 이는 각 비컨의 특성의 차이가 모델이 반영되기 때문이다.

3. 유사도를 이용한 위치결정 기법

3.1 DB 구축 방법

데이터베이스를 구축하는 방법은 실험치를 그냥 사용하는 방법(실험 DB)과 측정치로부터 모델을 구하고 구해진 모델을 이용하는 방법(모델 DB)으로 구분할 수 있다. 실험 DB는

그림2의 테스트베드에서 최대 45개 지점까지 구축하였다. 모델 DB는 표1의 각 비컨에 대한 RSSI대 거리 모델을 이용하여 구축하였다. 실험 DB는 실제 환경에 가장 일치하게 구축할 수 있지만 환경이 변하거나 DB 수를 늘린 경우에 측정치를 추가로 확보해야만 하는 불편함이 있다. 반면에 모델 DB는 원하는 모든 지점에서 DB를 구축할 수 있지만 모델의 정확도에 따라 실제 환경과는 차이가 있을 수 있다.

3.2 유사도(Similarity) 적용

미지의 노드 N에서 측정된 RSSI와 DB에 저장된 기준 지점 Ri에서 RSSI를 식(8)과 식(9)로 표시하자.

$$X_n = [x_1 x_2 x_3 x_4] \quad (8)$$

$$Y_n = [y_1 y_2 y_3 y_4] \quad (9)$$

유사도는 데이터베이스에 저장된 RSSI와 미지의 위치에서 수신한 RSSI의 일치도를 나타내고 식(10)의 내적을 상관도 계산에 이용할 수 있다.

$$S(n, i) = e_{x_n} \cdot e_{y_n} \quad (10)$$

여기서 $e_{x_n} = \frac{X_n}{|X_n|}$, $e_{y_n} = \frac{Y_n}{|Y_n|}$

본 논문에서는 RSSI의 특성이 최대한 반영될 수 있도록 다음과 같이 변형된 유사도를 구한다. 여기서 \bar{x} 는 식 (1)에서 구한 바이어스이다.

$$S(n, i) = \left(\frac{X_n - \bar{x}}{\max(X_n - \bar{x})} \right)^T \cdot \left(\frac{Y_n - \bar{y}}{\max(Y_n - \bar{y})} \right) \quad (11)$$

3.3 유사도를 이용한 위치결정 실험결과

유사도를 이용한 위치결정은 2.3절과 동일한 실험결과를 이용한다. 실험 DB를 이용한 유사도 측정 실험에서는 기준지점 R1~R12의 12개만 구축하는 경우와 노드 N1~N9를 추가로 포함한 총 45개를 구축하는 경우로 나누어 실험을 하였으며 그 결과는 표2와 그림 6, 7에 나타내었다. 12개 지점만으로 DB를 구축한 경우 노드의 위치가 DB에 없으므로 100% 매칭이 일어나도 거리오차는 2.8m가 발생한다. 실제에서는 그림 6에서 보는바와 같이 멀리 있는 기준 지점을 찾는 경우가 많이 발생하여 4.89m 이상의 오차가 발생했다. 2m 단위로 모든 지점에서의 측정치를 이용하여 DB를 구축한 경우 위치오차가 0.18m 정도로 나타나며, 이는 DB에 포함된 정보의 양이 증가한 것과 DB를 구축하기 위하여 측정된 지점에서 위치를 구한 효과가 합쳐져서 나타난 결과이다.

모델 DB를 이용한 유사도 측정 실험에서는 공통 모델과 각 비컨에 대한 거리 모델을 이용하여 DB를 임의로 구축할 수 있으나, 본 논문에서는 16개, 25개, 49개, 169개를 구축하여 실험을 하였으며 결과는 표4와 같다. 표에서 DB의 숫자가 증가함에 따라 정확도가 향상되는 경향을 보여주며, 별도 모델을 사용하는 것이 공통 모델을 사용하는 것에 비하여 성능 향상을 나타내지 못함을 보여준다. 이는 RSSI와 거리사이의 관계식이 정확하지 않아 발생한 현상으로 유추되며, 로그함수 모델 등 좀 더 현실성 있는 모델을 사용하면 성능이 향상될 것으로 기대된다.

WLSQ 기법이나 모델 DB를 이용하는 기법 모두 정확도는 RSSI 대 거리의 관계식에 민감하게 영향을 받으며, 만약 같은 RSSI 대 거리 모델을 이용한다면, 모델 DB의 개수를 무한히 늘이면 WLSQ와 같은 결과를 얻을 것으로 기대된다.

표 3. 실험 DB를 이용한 위치결정 오차 크기.

	실험 DB 12	실험 DB 45
RMS[m]	4.8996	0.1814

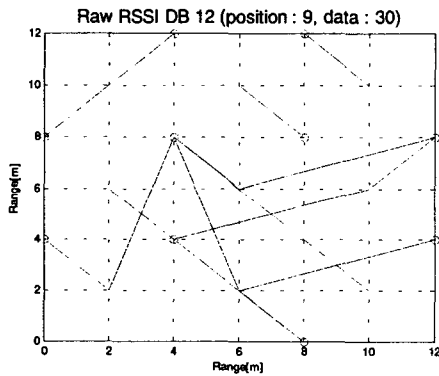


그림 6. 유사도(실험 DB 12), 오차 4.8996 m.

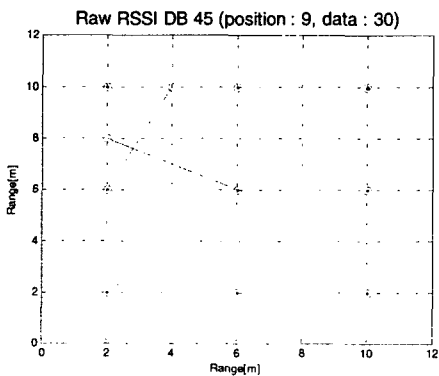


그림 7. 유사도(실험 DB 45), 오차 0.1814 m.

표 4. 모델 DB를 이용한 위치결정 오차 크기.

	모델 DB 16	모델 DB 25	모델 DB 49	모델 DB 169
공통 모델 RMS[m]	3.5863	3.0173	3.0080	3.3268
별도 모델 RMS[m]	3.6053	3.2405	3.2363	3.1816

4. 결론

본 논문에서는 WSN에서 RSSI를 이용하여 위치를 구하는 기법을 소개하고 정확도를 실험을 통하여 분석하였다. 위치정확도는 RSSI와 거리의 관계에 가장 큰 영향을 받으며, WLSQ의 경우 각 비컨별로 따로 구한 관계식이 공통으로 구한 관계식에 비하여 조금 더 나은 3.1m 정도의 정확도를 보였다. 측정치만을 이용하여 DB를 구축하는 경우 DB의 개수에 영향을 받으며 45개 DB인 경우 0.18m의 정확도를 얻을 수 있었다. RSSI와 거리와의 관계를 이용하여 DB를 구축하는 경우 실험하지 않은 지점도 DB를 구축할 수 있다는 장점이 있지만 RSSI 대 거리와의 관계식의 정확도에 따라 결과가 달라지며 같은 관계식을 사용하는 WLSQ와 유사한 성능을 나타내었다. 로그함수 등의 좀 더 현실성 있는 RSSI 대 거리와의 관계식을 찾으면 정확도 향상을 기대할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] D. Lymberopoulos, Q. Lindsey and A. Savvides, "An Empirical Analysis of Radio Signal Strength Variability in IEEE 802.15.4 Networks using Monopole Antennas," ENALAB Technical Report, 2005.05.01.
- [2] P. Bahl and V. N. Padmanabhan. RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system. In Proc. IEEE Infocom, pages 775 - 784, Tel-Aviv, Israel, April 2000.
- [3] Konrad Lorincz and Matt Welsh. Motetrack: A robust, decentralized approach to rf-based location tracking. In Proceedings of the International Workshop on Location- and Context-Awareness (Loca 2005), 2005.
- [4] Sabine Van Huffel and Joos Vandewalle, The Total Least Squares Problem Computational Aspects and Analysis, Philadelphia, 1991.
- [5] Crossbow, <http://www.xbow.com/>