

수신 신호 강도(RSSI) 측정을 이용한 센서 네트워크상에서의 실내 위치 추정 시스템

김영균<sup>1)</sup> · 유영동<sup>1)</sup> · 좌동경<sup>1)</sup> · 홍석교<sup>1)</sup> · 박민호<sup>2)</sup> · 한상완<sup>2)</sup>  
 아주대학교 전자 공학부<sup>1)</sup>, 청양대학교 디스플레이 전자과<sup>2)</sup>

Indoor Localization System Using RSSI Measurement of Wireless Sensor Networks

Youngkyun Kim<sup>1)</sup> · Young-dong Yoo<sup>1)</sup> · Dongkyoung Chwa<sup>1)</sup> · Suk-Kyo Hong<sup>1)</sup> · Minho Park<sup>2)</sup> · Sangwan Han<sup>2)</sup>  
 Department of Electrical and Computer Engineering, Ajou University<sup>1)</sup>  
 Department of Display Electronic Engineering, Cheongyang<sup>2)</sup>

**Abstract** - 일반적으로, 저가 장비를 이용한 수신 신호 강도(RSSI)의 측정은 전파의 특성상 다소 부정확한 정보를 제공하고, 이는 최소평균제곱오차(MMSE)를 이용한 위치 추정 방법에 있어 큰 오차 요인으로 작용한다. 따라서 이 논문에서는 수신 신호 강도를 이용한 기존의 위치 추정 방법을 개선하기 위해 센서 네트워크상의 유효 노드선정 알고리즘을 제시한다. 그리고 개선된 방법을 이용하여 센서 네트워크 기반의 실내 위치 추정 시스템을 구현 한다. 끝으로, 개선된 방법의 성능 검증을 위한 실험 결과를 제시한다.

1. 서 론

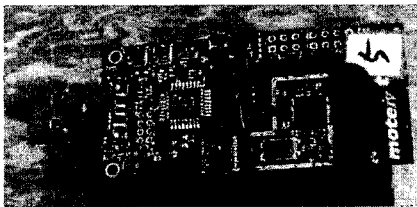
청소 로봇 등의 실내 이동 로봇의 생산이 많아지는 만큼 실내에서 물체의 위치 인식은 그 필요성을 더해가고 있다. 위치추정의 방법도 여러 가지가 있는데 비전 시스템을 이용한 방법, 또는 초음파 센서를 이용하여 전파와의 도달 시간차를 이용하는 방법 등이 있다. 그러나 비전 시스템이나 초음파 시스템의 경우 비교적 정확도가 높으나, 비교적 고가이고, 추가적인 하드웨어를 필요로 한다. 전파는 이동한 거리에 따라 그 세기가 감쇠하는데, 최근 들어, 수신 신호 강도, 즉, RSSI(Received Signal Strength Indicator)를 측정하여 거리를 추정하는 연구가 진행 중이다[1][3]. 한편 수신 신호 강도 측정의 경우 추가적인 장치나 추가비용이 필요 없는 장점이 있다. 그러나 전파의 특성상, 그 값이 선형적이지 못하고 외부 환경에 쉽게 변화하는 등의 특성으로 인해 잠재적인 부정확성을 내포한다.

수신 신호 강도를 이용한 기존의 위치 추정 방법을 개선하기 위해 센서 네트워크상의 유효 노드선정 알고리즘을 제시한다. 그리고 개선된 방법을 이용하여 센서 네트워크 기반의 실내 위치 추정 시스템을 구현 한다.

2. 위치 추정 시스템

2.1 하드웨어 구성

실험에 사용된 센서네트워크의 장비는 그림 1과 같이 버클리의 Tmote Sky를 사용하였다. Tmote Sky는 내부 안테나가 있지만 방사되는 전파의 특성이 전방향성을 갖지 못한다. 그러므로 추가 안테나를 부착하여 전방향성을 보완 하였다. 또한 운영체제는 연세대에서 개발한 RETOS라는 운영체제를 사용하였다. 표 1은 Tmote Sky의 사양을 나타낸다.

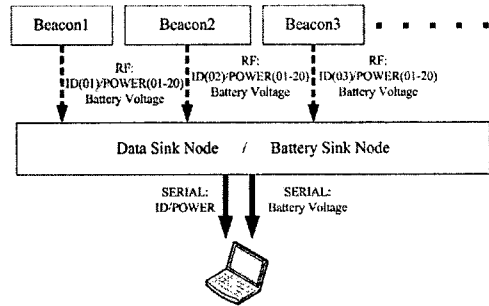


<그림 1> Tmote Sky의 모습

CPU	TI MSP 430
Radio Frequency band	2.4GHz
Radio Data Rate	250kbps
RAM	10kB
Antenna	Omni-directional 1dBi gain

<표 1> Tmote Sky의 제품 사양

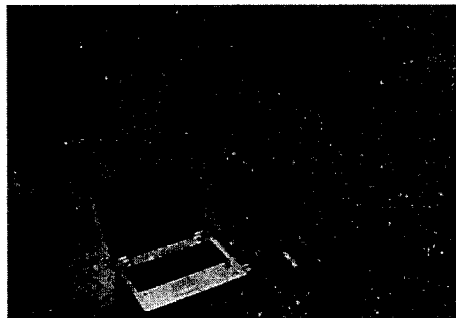
실험을 위하여 총 12개의 노드를 사용 하였으며, 일정한 세기로 전파를 방사시키는 10개의 비콘 노드, 데이터를 받아들이는 싱크 노드와 배터리 잔량 체크를 위한 싱크 노드로 구성된다. 그림 2는 데이터의 전송과정 및 데이터 패킷 구조를 나타낸다.



<그림 2> 데이터의 전송과정

2.2 위치 추정 알고리즘

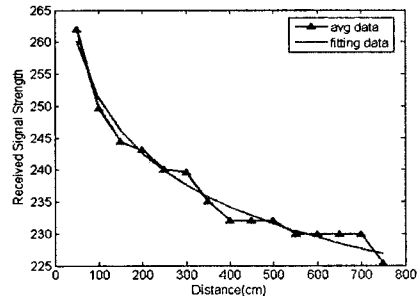
전파는 이동한 거리에 따라 그 세기가 감쇠한다. 이러한 특성을 알아보기 위하여 그림 3과 같이 실험 하였다. 비콘의 세기를 최대로 고정하고 각 거리에 따라 싱크에서 수신된 신호 강도를 측정하였다.



<그림 3> 거리에 따른 RSSI 측정 실험

2.2.1 수신 신호 강도 특성

그림 4는 10개의 비콘으로부터 수신된 각 거리에 대한 데이터의 평균값을 도시한 그래프이다. 대체적으로 거리에 대하여 반비례의 관계를 보인다.



<그림 4> 거리의 따른 RSSI와의 변화

위 그래프를 바탕으로 거리에 대한 수신 신호 강도의 측정 식에 대한 근사화 모델을 다음과 같이 선정한다.

$$P_{RSSI} = \frac{b}{r^{\alpha}} \quad (1)$$

여기서  $P_{RSSI}$ 는 수신된 전파 세기이며,  $r$ 은 거리를 나타낸다.  $a$ 와  $b$ 는 임의의 상수 값이다. 위의 식을 바탕으로 하여 수신된 신호 강도에 대한 싱크 노드까지의 거리를 계산 할 수 있다. 즉, 총 10개의 비콘으로부터 싱크 노드까지의 거리를 각각 구할 수 있는 것이다.

### 2.2.2 유효 노드 선정 알고리즘

근사화 모델식(1)을 이용하는 이 알고리즘은 기본적으로 삼각법의 형태를 갖으며, 위치 좌표를 추정하기 위해서는 적어도 3개의 비콘 데이터가 필요하다. 총 10개의 비콘을 사용한 경우 불확실한 데이터를 감안 하면 10개의 데이터를 모두 사용하는 것은 무의미하다. 계산에 꼭 필요한 유효 비콘 노드를 선정 하는 알고리즘이 필요하다. 이를 위하여 몇 단계의 과정을 거친다. 첫 번째는 유효 노드를 10개의 데이터 중에서 수신 신호 강도의 값을 가장 큰 것으로 선정한다. 싱크 노드의 위치가 가장 가까운 부분에서 수신 신호 강도가 가장 크기 때문이다.

그 다음 단계는 위의 방법으로 선정된 제 1 비콘 노드를 중심으로 주위 다른 노드를 각각의 수신 신호 강도에 대응 되는 데이터 값으로 원을 그린다. 제 1 비콘의 추정 거리와 현재 비콘의 추정 거리의 합이 두 비콘 사이의 거리 보다 큰 경우, 싱크 노드를 사이에 두고 두 원이 교차함을 의미 하므로 이때의 비콘을 유효 노드로 선정하며 그 관계는 다음과 같다.

$$r_1 + r_2 > l \quad (2)$$

여기서  $r_1$ 은 제 1노드의 추정 거리,  $r_2$ 는 현재 비콘의 추정 거리이며,  $l$ 은 두 비콘 사이의 거리를 뜻한다.

그러나  $r_2$ 의 경우 그 값이 너무 커서 현재 비콘의 원이 제 1 비콘의 원을 완전히 포함 하는 경우에 위치 추정 시 상당한 오차를 발생 시킬 수 있다. 이러한 경우에 다음과 같은 공식을 사용한다.

$$r_2 < l \quad (3)$$

(3)의 식을 적용하면  $r_1, r_2, l$ 은 삼각형의 모습을 갖는다. 그러나 이 경우에도 수신 신호 강도의 불안정한 특성상 약간의 상수를 주어 안정성을 고려할 필요가 있다. 따라서 이 알고리즘에서는 위 식을 수정하여 다음과 같이 사용한다.

$$r_2 < l + \alpha \quad (4)$$

이 논문에서  $\alpha$ 는 비콘 사이의 기본 거리인 150cm로 사용 하였다. 위의 과정을 모두 만족하는 비콘의 경우 완전 유효 노드로 선정하고 위치 추정에 사용한다. 그러나 그 개수가 3개 미만일 경우 (4)식을 만족 하지 않더라도 (2)식을 만족하는 비콘에 한해서 유효 노드로 선정하고 위치 추정 계산에 사용 한다. 또한 선정된 유효 비콘들이 한쪽 면에 모두 몰려 있을 경우에도 삼각법에 의한 위치 추정을 할 수 없다. 이 경우 반대편 비콘이 (4)식 혹은 (2)식을 만족 하지 않더라도 유효 노드로 선정한다.

### 2.2.3 위치 추정 계산

위에서 구한 각각의 거리 값은 최소 평균 제곱오차(MMSE) 방법을 이용하여 싱크 노드의 좌표값을 구하였다[2]. 싱크 노드의 좌표를  $(x_0, y_0)$ 라 하고 비콘의 좌표를  $(x_i, y_i)$ 라 한다.  $d_i$ 를 싱크와 비콘 간의 거리라 하면 측정된 거리와 추정된 거리간의 관계는 다음과 같다.

$$f_i(x_0, y_0) = d_i - \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2} \quad (5)$$

$f_i = 0$ 으로 설정하고 양변에 제곱을 하여 전개하면

$$-x_i^2 - y_i^2 + d_i^2 = (x_0^2 + y_0^2) + x_0(-2x_i) + y_0(-2y_i) \quad (6)$$

이된다. 위치를 찾기 위해서는 3개의 데이터가 사용되며, 여분의 비콘의 좌표는  $(x_k, y_k)$ 로 설정하며, 이를 이용하여  $x_0^2 + y_0^2$ 을 다음과 같이 소개한다.

$$-x_i^2 - y_i^2 + d_i^2 - (-x_k^2 - y_k^2 + d_k^2) = 2x_0(x_k - x_i) + 2y_0(y_k - y_i) \quad (7)$$

식(8)의 형태로 정리하면  $X, y, b$ 는 각각 (9), (10)과 같이 되어 싱크 노드의 좌표  $(x_0, y_0)$ 를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$y = Xb \quad (8)$$

$$b = (X^T X)^{-1} X^T y \quad (9)$$

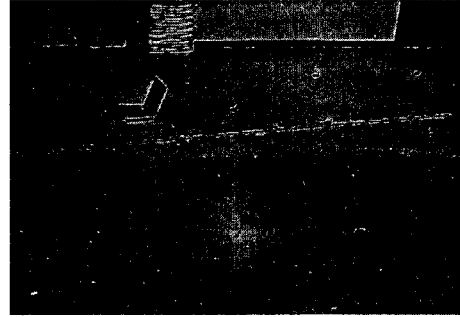
$$X = \begin{bmatrix} 2(x_k - x_i) & 2(y_k - y_i) \\ \vdots & \vdots \\ 2(x_k - x_{i-1}) & 2(y_k - y_{i-1}) \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$y = \begin{bmatrix} -x_i^2 - y_i^2 + d_i^2 - (-x_k^2 - y_k^2 + d_k^2) \\ \vdots \\ -x_{i-1}^2 - y_{i-1}^2 + d_{i-1}^2 - (-x_k^2 - y_k^2 + d_k^2) \end{bmatrix}$$

$$b = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

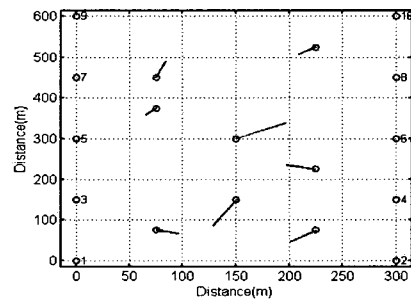
### 2.3 실험적 검증

위에서 구한 알고리즘을 검증하기 위해 그림 5와 같은 실험을 하였다.



〈그림 5〉 센서 노드의 배치

10개의 비콘을 일정 간격으로 놓고, 싱크노드를 임의의 좌표에 놓아두고 모든 비콘으로부터의 수신 신호 강도를 측정하였다. 그 후 유효 노드 선정 알고리즘과 최소 평균 제곱 오차의 방법으로 싱크노드의 위치를 추정 하였으며 그 결과는 그림 6과 같다.



〈그림 6〉 싱크 노드의 위치 추정

그림 6에서 보는바와 같이 측면에서의 위치 추정은 가까운 비콘의 영향으로 인해 50cm 이하의 거리 오차를 보여주었다. 반면 중간 지점에 위치한 싱크 노드의 경우 비콘들로부터 비교적 멀리 떨어져 있는 점 때문에 거리 오차가 다소 커짐을 볼 수 있었다. 대체적으로 1m 이내의 거리오차가 발생함을 볼 수 있다.

## 3. 결 론

이 논문에서는 전파의 수신 신호 강도를 측정하여 물체, 즉, 싱크의 위치를 추정하는 방법을 개선하였다. 개선된 방법은 최소 평균 제곱오차(MMSE) 방법을 사용하기 위한 유효 노드의 선정 알고리즘을 이용하였고 실험을 통하여 검증을 하였다. 비전 시스템이나 초음파 시스템처럼 수 cm 이내의 정확성을 보이지는 못하지만 수신 신호 강도 측정방식의 기본 오차인 2-3m 이내에서 대략 1m 이내로 그 오차를 줄인 점을 볼 수 있었다. 추후, 보다 최적화된 수신 신호 강도의 모델 식과 그 특수 상수 값을 찾고자 한다. 또한 움직이는 물체의 위치 추정을 위해, 뉴턴 네트워크를 통한 학습 방법 또는 확장 칼만 필터등의 다른 위치 추정 알고리즘을 통하여 보다 정밀 하며 다른 환경에서 적용하여 보고자 한다.

### 후 기

본 연구는 한국과학재단 특장기초연구 R01-2006-000-11373-0 지원으로 수행되었음.

### [참 고 문 헌]

- [1] Masashi Sugano, Tomonori Kawazoe, Yoshikazu Ohta, and Masayuki Murata, "Indoor Localization System Using RSSI Measurement of Wireless Sensor Network Based on ZigBee Standard," The IASTED International Conference on Wireless Sensor Networks (WSN 2006), Banff (Canada), July 2006.
- [2] A. Savvides, C.-C. Han, and M. B. Strivastava, "Dynamic fine-grained localization in ad-hoc networks of sensors", Proc. 7th International Conference on Mobile Computing and Networking, 166-179, 2001.
- [3] K. Vandenburghe. "Fine-grained Indoor Localisation using Wireless Sensor Nodes". Master's Thesis, TU Delft, NL, August 2005.