

고정 노드 간의 RSSI 값을 이용한 Zigbee 실내 위치 인식 시스템 구현

이진욱* 류재중* 이우성* 한덕구** 최현철*
 *경북대학교 전자전기컴퓨터학부
 **(주)퓨전소프트

Implement of Zigbee Indoor location aware system by RSSI between anchors

Jinwook Lee*, Jaeyong Ryu*, Wusung Lee*, Dougkoo Han**, Hyunchul Choi*

*School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University, Daegu, Korea

**Fusion Co.,Ltd, Dongcheon-dong, Buk-gu, Daegu, Korea

Abstract - 본 논문에서는 Weighted Centroid Localization(WCL) 알고리즘을 적용하여, 고정 노드 (Anchors) 사이의 측정된 수신 신호 강도(RSSI)로 Zigbee 실내 위치 인식 시스템을 구현하였다. 센서 노드의 위치는 RSSI에 의해 선택된 가상 고정 노드에 WCL을 적용하여 결정한다. WCL에서 부여하는 가중치는 고정 노드와 RSSI 센서 노드 위치의 거리에 대한 함수이며, 고정 노드 간의 측정된 RSSI 값으로 구한다. 고정 노드 간의 RSSI로 가상 고정 노드를 이용한 WCL은 기존의 방식에서 사용되는 고정 노드의 수를 줄이고, 측정 대상의 위치 정확도를 측정된 RSSI 값만으로 추정된 위치보다 7.8% 향상되는 것을 확인 하였다.

keywords : sensor network, location, anchor, RSSI, WCL

1. 서 론

통신 기술에서 디바이스의 소형화와 발전은 센서 네트워크 분야에 있어서 더 작고, 경제적인 지능적인 센서 네트워크를 가능하게 하였다. Zigbee 센서 네트워크는 2.4GHz 대역에서 250kbps의 데이터 전송률을 가지며 저전력 디바이스로서 홈 자동화와 보안, u-Health care 장비, 저전력 Telemetry 등 많은 분야에서 응용되어 지고 있다[1]. IEEE 802.15.14 표준을 만족하는 Zigbee를 이용한 실내 위치 인식 시스템은 크게 두 가지 방법으로 나눌 수 있다. 무선 노드 간 거리를 측정하여 위치를 계산하는 TOA (Time Of Arrival), TDOA (Time Difference Of Arrival), ROA (Received signal strength Of Arrival), AOA (Angle Of Arrival) 같은 Range-Based와 무선 노드 간 거리를 직접 측정하지 않고 위치를 추정하는 APT, DV-Hop, Centroid 같은 Range-free 방법으로 거리를 추정 할 수 있다[2]. 본 논문에서는 고정 노드 간의 RSSI 그리드를 이용해 기존의 WCL의 고정 노드를 대신하여 가상 고정 노드를 적용하였다. 제안된 WCL 방식의 위치 인식 시스템은 필요한 고정 노드의 수를 줄일 수가 있으며, 실내 전파 환경의 다중경로에 의한 손실 등의 영향을 최소화함으로써 기존의 RSSI 기법보다 위치 인식 오차를 줄일 수 있다.

2. 본 론

Zigbee 기반 위치 인식 시스템은 센서 노드, 고정 노드, 코디네이터로 구성되고 위치 인식은 고정 노드와 센서 노드 간의 RSSI로 추정한다. RSSI가 다양한 요소들에 의해서 영향을 받으므로 정확한 위치를 찾기 어렵다. 이런 문제를 보완하기 위해 고정 노드 간의 실제 RSSI 그리드로 가상 고정 노드를 만들고 RSSI 값만으로 구한 센서 노드와 각 가상 고정 노드의 거리를 가중치 함수로 부여한다. 센서 노드의 위치는 각 가상 고정 노드에 대한 센서 노드의 위치를 평균값으로 구한다.

2.1 RSSI와 WCL

2.1.1 RSSI (Received Signal Strength Indication)

센서 노드의 위치를 추정하기 위해서 각 고정 노드 사이의와 센서 노드의 거리를 요구한다. 이런 방법 중의 하나는 송신 장치(Tx)와 수신 장치(Rx)의 송수신 전력으로 정의되는 RSSI 값을 측정하는 것이다. 수신 신호의 세기는 식(1)과 같이 수신 신호의 전력과 기준 전력(1mW)의 비로 표현하는 RSSI로 나타내고 있다. 그리고 자유공간 속에서 Friis' 전송 식에 의하면, 수신 신호의 강도는 거리에 제곱에 반비례하고 식(2)와 같다[3][4].

$$RSSI = 10 \cdot \log \frac{P_R}{1mW} [dBm] \quad (1)$$

$$P_R = P_T \cdot G_T \cdot G_R \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (2)$$

P_T = 송신기의 전송 전력
 P_R = 수신기의 수신 전력
 G_T = 송신기의 이득
 G_R = 수신기의 이득
 λ = 파장 길이
 d = 송수신기 사이의 거리

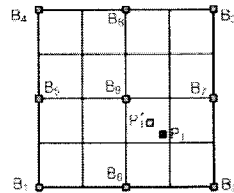
2.1.2 WCL (Weighted Centroid Localization)

CL(Centroid Localization)은 고정 노드에서 위치 정보를 담은 비콘(beacon) 신호를 전달하고, 센서 노드의 수신 신호로부터 고정 노드 좌표들의 산술적 평균을 구한다. WCL은 고정 노드와 센서 노드 사이의 거리에 대해 가중치를 부여하여 센서 노드 위치를 구하고 오차를 줄일 수 있게 된다. 가중치(w_{ij})는 거리와 센서 노드의 특성에 의해서 결정되는 함수로 실험적으로 구할 수 있으며, 거리에 반비례한다[5][6]. 그림1에서 보는 것처럼 P_i 에 위치하고 있는 센서 노드를 WCL 방식을 적용하면 P_i' 으로 구할 수 있다.

$$P_i'(x', y') = \frac{\sum_{j=1}^n (w_{ij} B_j(x, y))}{\sum_{i=1}^n w_{ij}} \quad (3)$$

$$w_{ij} = \frac{1}{(d_{ij})^g} \quad (4)$$

g = 가중치 함수에 대한 차수



$B_j(x, y)$ = 고정노드 위치
 $P_i(x, y)$ = 센서노드의 위치
 $P_i'(x', y')$ = 센서노드의 위치 (WCL)
 d_{ij} = j 고정노드와 i 센서노드의 거리

<그림 1> WCL 위치 인식

그리고 위치에 대한 오차는 식(5)를 이용하여 구할 수 있다.

$$e_i = \sqrt{(x' - x)^2 + (y' - y)^2} \quad (5)$$

e_i = 센서 노드의 위치 오차

2.2 고정 노드 간의 RSSI를 이용한 위치 인식

먼저 고정 노드, 센서 노드, 코디네이터로 무선 센서 네트워크를 구축하여 고정 노드와 센서 노드, 고정 노드 간의 RSSI 차이를 오프셋으로 하여 값을 측정한다. 측정된 RSSI 값을 이용하여 가상 고정 노드 $B_j'(x', y')$ 를 생성한다. $B_j'(x', y')$ 는 1m 간격의 교차점에 존재하며 측정 RSSI와 가장 가까운 점으로 취한다. 단, 차이가 2.5 dBm 이하의 차이는 이론치와 가까운 점으로 간주한다.

그리고 WCL을 적용하기 위해서 식(3)과 같이 센서 노드 $P_i'(x', y')$ 의 위치를 구할 수 있다. d_{ij}' 는 가상 고정 노드 $B_j'(x', y')$ 와 $P_i''(x'', y'')$ 의 거리이며, $P_i''(x'', y'')$ 은 RSSI 값만을 이용하여 구한 센서 노드의 위치이다. 이때 d_{ij}' 는 고정 노드로부터 수신되는 센서 노드의 RSSI와 $B_j'(x', y')$ 의 RSSI 차로 구하며, $B_j'(x', y')$ 의 RSSI 값은 식(6)을 이용하여 구한다.

$$d_{RSSI_{R_i}} = \sqrt{d_{RSSI_i}^2 + d_{RSSI_i'}^2} \quad (6)$$

$d_{RSSI_{R_i}} = B_i'(x', y')$ 에서 RSSI값의 거리

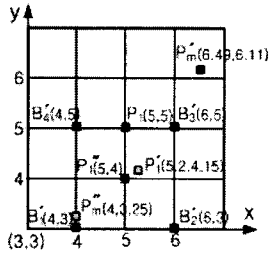
$d_{RSSI_i} = x'$ 에서 RSSI값의 거리

$d_{RSSI_i'} = y'$ 에서 RSSI값의 거리

마지막으로 각 고정 노드로부터 수신되는 신호에 따른 $P_i'(x', y')$ 의 평균값 $P_m'(x', y')$ 을 센서 노드의 위치로 결정한다.

결과적으로 고정 노드간의 RSSI 값을 통한 위치 인식 방식에 WCL을 적용하므로 WCL보다 적은 고정 노드의 수를 가지면서,

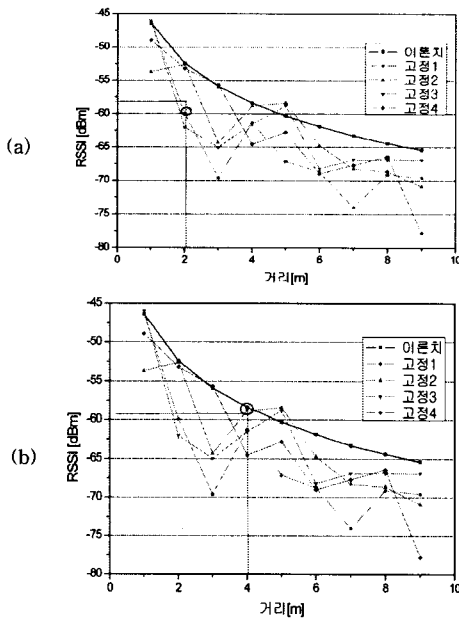
각 기준 노드에 대한 RSSI 값으로 구한 $P_i''(x'',y'')$ 의 평균인 $P_m''(x'',y'')$ 보다는 센서 노드의 위치 정확도를 향상 된다.



$B_j'(x',y')$ = 가상 고정 노드 위치
 $P_i'(x',y')/P_i''(x'',y'')$ = 센서 노드의 WCL/RSSI 위치
 $P_m'(x',y')/P_m''(x'',y'')$ = 센서 노드 위치 WCL/RSSI 평균
<그림 2> 고정 노드 간의 RSSI 값을 통한 위치 인식 방법

2.3 위치 인식 시스템 구현

본 시스템은 4개의 고정 노드를 사용하여 고정 노드 간의 RSSI 값으로 가상의 고정 노드를 생성하였으며, 실내 전파 공간은 9m×16m이다. 동작 주파수가 2.4~2.85GHz인 LM2400 Zigbee 모듈을 사용하였으며, F 인버터형 패치 안테나를 부착한 센서 노드, 모노폴 안테나를 부착한 고정 노드와 코디네이터로 구현하였다. 고정 노드에서 전파되는 신호는 출력이 3.9dBm이며, 등방성이며 균일하게 전파된다고 가정한다. 그리고 거리에 따른 센서 노드와 고정 노드 간의 1m에서 측정된 RSSI 오프셋 값은 고정 노드1은 -51.33dBm, 고정 노드2는 -53.39dBm, 고정 노드3은 -51.75dBm, 고정 노드4는 -50.86dBm이며, 이론치 -46dBm을 기준으로 5.33dBm, 7.39dBm, 5.75dBm, 4.86dBm을 오프셋을 적용한다. 실제 고정 노드 간에 생성된 가상 노드의 거리별 적용한 그리드는 그림3과 같다.



<그림3> 거리에 따른 (a)가로 (b)세로 RSSI 그리드

그림2처럼 $P_1(5,5)$ 에 위치한 센서 노드는 각 고정 노드로부터 순차적으로 -63.21dBm, -62.53dBm, -65.82dBm, -58.15dBm을 수신한다. 고정 노드1을 기준으로 센서 노드의 위치를 구하기 위해 -63.21dBm으로 $P_1''(5,4)$ 를 구한다. 그리고 가상 고정 노드 $B_1'(4,3)$, $B_2'(6,3)$, $B_3'(6,5)$, $B_4'(4,5)$ 를 생성하고, 식(3),(4)를 적용하여 가상 고정 노드 $B_j'(x',y')$ 와 $P_1''(5,4)$ 의 거리 $d_1'', d_2'', d_3'', d_4''$ 를 구한다. 그 값은 $g=3$ 일 때, 0.0117m, 0.0104m, 0.0093m, 0.0107m이며, $P_1'(x',y')$ 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_1'(x,y) = \frac{\left(\frac{4,3}{0.0117}\right) + \left(\frac{6,3}{0.0104}\right) + \left(\frac{6,5}{0.0093}\right) + \left(\frac{4,5}{0.0107}\right)}{\left(\frac{1}{0.0117}\right)^3 + \left(\frac{1}{0.0104}\right)^3 + \left(\frac{1}{0.0093}\right)^3 + \left(\frac{1}{0.0107}\right)^3}$$

$$= (5.20, 4.15)$$

또한 나머지 고정 노드 2, 3, 4로부터 수신 되는 RSSI를 기준으로 센서 노드의 WCL 위치 $P_1'(x',y')$ 과 RSSI 위치 $P_1''(x'',y'')$ 를 구할 수 있고, 표1

과 같다. 그리고 $P_1'(x',y')$ 과 $P_1''(x'',y'')$ 의 평균 위치를 $P_m'(6.49,6.11)$ 과 $P_m''(4,3.25)$ 으로 추정할 수 있다.

	고정 노드1	고정 노드2	고정 노드3	고정 노드4
$P_1'(x,y)$	(5.20,4.15)	(6.15,3.56)	(3.14,3.16)	(11.48,13.55)
$P_1''(x'',y'')$	(5,4)	(5,3)	(4,3)	(2,3)

<표1> 고정 노드에 따른 추정 센서 노드

3. 결 론

RF 통신 기반의 다양한 위치 인식에 대한 여러 가지 방법들이 제시되고 있으며, Zigbee 무선 센서 네트워크는 전파 환경적 요인으로 실내 위치 인식을 하기 위해서는 많은 고정 노드를 사용한다.

본 논문에서는 이런 문제를 해결 하고 위치 인식 정확도를 향상 시키고자 하였다. 고정 노드 간의 RSSI 값을 이용한 Zigbee 실내 위치 인식 시스템을 구현하였으며, 센서 노드의 위치 오차를 줄이기 위해서 가상 고정 노드를 이용한 WCL을 적용하였다. 이는 RSSI 값으로 구한 센서 노드의 위치 P_m'' 과 비교 했을 때, 오차는 2.02에서 1.86로 약 7.8% 향상 되고, 기존의 WCL보다 고정 노드의 수는 감소하였다. 향후 위치 인식의 정확도를 높이기 위해서 위치 최적화 기법에 대한 연구와 활용도를 높이기 위하여 실외 위치 인식 시스템에 대한 연구도 필요하다.

감사의 글

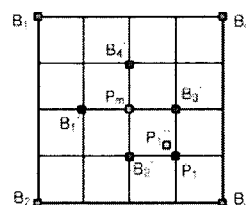
본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업(RTI04-03-02) 지원으로 수행되었음.

[참 고 문 헌]

- [1] Wenping Chen, Xiaofeng Meng, "A Cooperative Localization Scheme for Zigbee-based Wireless Sensor Networks", ICON, 1~5, 2006
- [2] T. He, C.Huang, B. M. Blum, J. A. Stankovic, and T. F. Abdelzaher, "Range-Free Localization Schemes in Large Scale Sensor Networks", MobiCom 81~95, 2003
- [3] David M. Pozar, "Microwave and RF Design of wireless system", WILEY, 120~124, 2001
- [4] Chong Liu, Kui Wu, Tian He, "Sensor localization with Ring Overlapping based on Comparison of Received Signal Strength Indicator", IE EE International Conference, 516~518, 2004
- [5] N. Bulusu, J. Heidemann, and D. Estrin, "GPS-less low cost outdoor localization for very small devices", IEEE Personal Communications Magazine, 7(5), 28~34, 2000
- [6] Ralf Grossmann, Jan Blumenthal, Frank Golasowski, Dirk Timermann, "Weighted Centroid Localization in Zigbee-based Sensor Networks", WISP, 1~6, 2007

RSSI값은 식(1), (2)에서 보는 것과 같이 수신 신호 전력은 거리의 제곱에 반비례하게 되고, RSSI 값은 수신 신호 전력의 로그 값에 비례하게 된다. 하지만 이러한 영향들을 포함하여 실내 전파 환경에서 측정된 실제 RSSI 값과 이론치를 비교하면 그림1과 같다.

WCL의 경우, 고정 노드들이 등간격으로 배치되어 있다. 그러나 고정 노드들의 간격이 좁아야 정밀한 위치 인식을 할 수 있기 때문에, 정밀한 위치 인식을 할 경우에는 고정 노드의 수가 증가한다. 이러한 점을 보완하여 제안된 알고리즘을 이용하여 range-based와 range-free 기법의 장점을 활용할 수 있게 고정 노드 간의 RSSI 값을 이용하여 가상의 고정 노드를 생성하여 위치를 구한다면 더 정확한 센서 노드의 위치를 구할 수 있다. 그리고



$B_j(x,y)$: 고정 노드
 $B_j'(x',y')$: 가상 고정 노드
 $P_m(x,y)$: 측정된 RSSI 값에 가장 가까운 가상 센서 노드
 $P_1''(x'',y'')$: WCL 적용된 센서 노드
 $P_1(x,y)$: 실제 센서 노드

<그림 2> 제안된 위치 인식 방법