

ZigBee를 이용한 실내 위치 인식의 정확성 향상에 관한 연구

김인겸, 이기영*

인천대학교

A Study on Accuracy Enhancement of Indoor Local Positioning System for Zigbee

In-Kyum Kim, Ki Young Lee

University of Incheon

E-mail : kylee@incheon.ac.kr

요 약

본 논문은 ZigBee 기술을 이용하여 실내 위치 인식 알고리즘을 설계하고 구현하였다. ZigBee의 가장 큰 장점은 RFID, 적외선, 초음파 기술 등과 비교하여 저전력으로 오랜 시간 동안 사용할 수 있으며, 먼서도 가격이 저렴하다는 것이다. 본 논문은 ZigBee를 이용한 위치 인식 기술에 RSSI와 삼각 측량법, 그리고 다수의 데이터에서 정확한 RSSI값을 선택하는 알고리즘을 설계하였고, 위치 인식의 정확도를 높이는데 초점을 두었다.

RSSI값을 미리 실측하여 Curve Fitting을 이용하여 각각의 고정 AP마다 RSSI와 거리의 관계식을 산출하여 위치 계산에 사용하였다. 또한 실제 위치 인식 시스템은 기존의 삼각 측량법만을 사용하는 방법과 본 논문에서 제안하는 방법을 각각 구현하였다. 또한 모의실험을 통해 실제 모바일 노드의 위치와 측정된 위치의 오차율을 비교하여 성능을 측정하였다. 모의실험을 통해 성능을 비교하여 모바일 노드의 위치 인식 오차율을 줄이고, 정확도를 향상하였다.

I. 서 론

ZigBee 기반의 실내 위치 인식 시스템은 다른 무선 통신 기술과 비교해 적은 양의 데이터를 전송하는 목적으로 설계되었으므로 데이터 전송속도가 낮다. 또한 실제 수신 가능 영역이 높으며 네트워크 대기시간이 적고 이에 따른 전력 소모량이 낮다. 네트워크 구성 또한 기존의 ad-hoc 형태뿐만 아니라 star, mesh, hybrid형 등 다양하게 확장 가능하다. 이러한 장점을 살려 기존 연구에 비해 전력 소모량을 줄이고, 실내에서의 위치 인식에 좀 더 유용하게 사용할 수 있다[1-4].

기존 수신 신호 세기(Received Signal Strength, RSS)만을 활용하는 경우, 위치 추정의 정확성은 RSSI 측정의 정확성과 실제 이동 장치가 있는 환경에 따라 달라진다[5-6]. 즉, 환경에 따라 측정된 RSSI 값이 안정적이지 않을 수 있다는 것이다. 이에 따라서 위치 정확도도 크게 변동하는 경향이 있으므로 이를 보완하기 위한 알고리즘 기법을 사용하여 위치 측정의 정확도를 높여보고자 한다.

II. 위치 인식 시스템 설계

본 논문에서는 RSSI와 삼각측량법을 이용하여 모바일 노드의 위치를 인식하는 시스템을 설계하였다. 또한 4개 이상의 AP(Access Point)를 사용

하여 위치 인식의 정확성을 높이는 방법을 설명한다. 먼저 RSSI와 삼각측량법에 대해 알아본 뒤, 제안하는 알고리즘을 설명한다.

1. RSSI (Received Signal Strength Indication)

RSSI를 이용한 거리 측정 방법은 AP에서 수신된 무선이동장치 혹은 태그의 신호 세기를 측정하여 이용하는 것으로, 태그와 AP 사이에서의 신호의 파워 손실 혹은 경로 손실 (path loss)을 신호가 이동한 거리와 연결시키는 방식이다[7-9]. 신호의 경로 손실과 거리와의 관계는 다음과 같은 Friis의 공식에 의해 설명된다.^[9] 이 때, A와 B는 시스템이 사용되는 환경 및 사용 주파수 대역에 따라 결정된다.

$$L = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right) \quad (\text{dBm}) \quad (1)$$

이 식은

$$L = A \cdot \log_{10}(d) + B \quad (\text{dBm}) \quad (2)$$

과 같이 표현되기도 한다. 이때 A와 B는 시스템이 사용되는 환경 및 사용 주파수 대역에 따라 결정된다. <그림 1>은 Friis의 공식에서 거리와 수신신호세기와의 관계를 보여주는 그래프이다. AP의 전송신호세기를 15dBm으로 했을 때, Friis 공식에 의해 얻어지는 이론값과 두 가지의 태그 유형에 대해 태그와 AP 사이의 거리를 2m에서 17m까지 늘려가며 수신신호세기를 측정하여 산

숏평균을 취한 실험값과 비교하고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 대부분의 거리에서 태그들의 평균 수신신호세기는 이론값을 잘 따라가고 있음을 알 수 있다. 그러나 4m 미만의 거리에서는 오차가 큼을 알 수 있다. 이렇게 큰 오차는 실제 위치 값의 계산 과정에서 부정확한 위치 값을 계산해 내는 것으로 확인됐다. 즉, 실제 거리가 2~3m 이지만, 계산으로는 5~6m로 되었다.

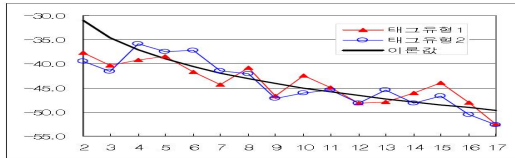


그림 1. 거리와 수신신호세기와의 관계

또한 RSSI를 사용한 위치 인식의 정확성은 RSSI 측정의 정확성과 실제 이동 장치가 있는 환경에 따라 달라진다. 즉, 환경에 따라 측정된 RSSI 값이 안정적이지 않을 수 있다는 것이다. 예를 들면, 태그 및 AP의 안테나 방향성, 송신기와 수신기 사이에 존재하는 장애물은 신호의 경로 손실에 커다란 영향을 미친다. 또한, 식 (1),(2)에서 보이는 것처럼 신호의 경로 손실과 거리와의 관계는 로그 관계가 존재하기 때문에, 측정되는 거리가 멀면 멀수록 경로 손실의 변화가 위치 추정 정확도에 미치는 영향은 커진다. 따라서 RSSI를 이용한 위치 추정은 상대적으로 낮은 위치 추정 정확성 및 낮은 위치 추정 안정성을 제공한다. 그러나 RSSI를 사용하기 위한 장치의 구조가 간단하고 기존의 근거리 무선 통신 기술들이 RSSI 정보를 이용할 수 있는 구조를 취하고 있기 때문에 위치 추적과 관련된 분야에서 광범위하게 사용되고 있다.

RSSI를 이용한 위치인식 시스템에서는 RSSI의 전파 모델을 찾아내는 것이 중요하다. 즉, 식 (2)의 계수인 A와 B를 어떻게 결정하느냐에 따라서 위치 인식 시스템의 성능이 결정된다고 할 수 있다. 본 논문에서는 RSSI를 실험공간에서 실제로 측정된 데이터를 Curve Fitting을 이용해 RSSI의 전파 모델을 찾았다. 이러한 전파모델을 이용하여 전송받은 RSSI값을 Distance로 변환하는데 사용하였다.

2. 삼각측량법 (Triangulation)

2차원 평면상에서 이동하는 개체의 위치를 추정하기 위해서는 최소 3개 이상의 기준점이 필요하다. 이런 기준점을 AP1, AP2, AP3라고 하고, 아래 <그림 2>에 보이는 것처럼 각 AP의 좌표를 (x_1, y_1) , (x_2, y_2) , (x_3, y_3) 라고 하자. 이동하는 개체를 M으로 나타내고, 현재의 위치가 (x, y) 라고 하자. 또한, 이동 개체 M으로부터 세 개의 기준점까지의 거리를 d_1, d_2, d_3 라고 하자.

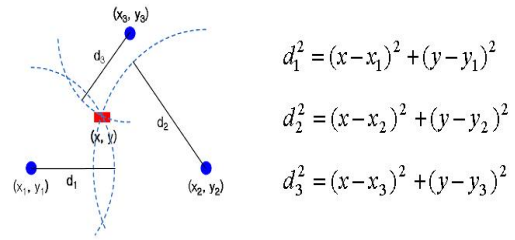


그림 2. 삼각측량법

이동 개체 M으로부터 각 기준점 사이의 거리는 피타고라스 정리에 의해 간단히 계산될 수 있다. 여기서, d_1, d_2, d_3 값은 다양한 방식에 의해 얻어질 수 있다. 수신 신호의 세기 (RSSI)와의 관계를 이용해서 구할 수도 있으며, 도착 시간 (TOA) 혹은 도착 시간차 (TDOA) 등을 이용하여 구할 수 있다[10].

3. 위치 인식의 정확도 개선

본 논문에서는 4개의 고정 AP에서 유효한 3개의 값을 이용하여 위치 인식의 정확성을 높이는 알고리즘을 사용하였다. 위치 계산 서버는 4개의 AP가 측정한 RSSI값을 전송받은 후, 3개씩 묶어지는 모든 경우를 계산하여 4개의 x, y의 좌표 값을 얻는다. 각각의 x, y좌표는 잘못된 RSSI값에 의해 변형될 수 있기 때문에 최종 x, y좌표의 선택은 식 (3)을 이용하여 선택한다. 먼저 각각의 x, y 좌표에 대해 평균 편차 D_i 를 구한다.

$$D_i = |x_i - M|, \quad i=1,2,3,4 \quad (3)$$

여기서 M은 4개의 x, y좌표의 평균값을 나타낸다. 그 후 식 (3)을 이용하여 표준편차 6를 계산한다. 표준편차 6는 식 (4)와 같다.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 D_i^2} \quad (4)$$

정규분포일 경우 표준편차는 일반적으로 M-6과 M+6값의 68.27% 사이에 포함된다. 추출된 4개의 x, y의 D_i 가 68.27% 보다 적다면 최소 평균편차 값 D_i 를 갖는 좌표 값이 최적의 위치로 결정된다. 만약 D_i 가 68.28%보다 클 경우에 오차의 범위가 큰 것으로 판단하고 그 좌표 값을 제외한 나머지 좌표 값을 이용하여 다시 평균 편차를 구해서 최소 평균 편차 값을 갖는 좌표 값을 모바일 노드의 가장 정확한 위치로 결정한다.

III. 실내 위치 인식 시스템 구현 및 실험

1. 실내 위치 인식 시스템 구현

1) ZigBee module

사용된 ZigBee module은 <그림 3>과 같은 한 백전자의 Zigbex를 사용하였다. Zigbex는 IEEE 802.15.4 규격의 250Kbps의 높은 Data rate를 가지는 Wireless Measurement System이다[11]. ZigBee chip으로는 CC2420을 사용하고

Atmega128L을 controller로 사용한다. Atmega128L은 내부 128kByte의 Flash memory를 가지고 있어 programmable하다[8].

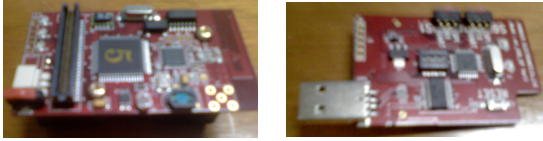


그림 3. ZigBee module

ZigBee module의 프로그램의 흐름은 <그림 4>과 같다. 먼저 모바일 노드가 2초에 한 번씩 신호를 Broadcast한다. 신호를 전달받은 고정된 각각의 AP들은 패킷을 받은 후 RSSI값을 측정한다. 측정된 RSSI값은 패킷의 번호, 노드의 ID와 함께 중앙의 서버로 전송하게 된다. module에 적재되는 프로그램은 TinyOS를 적재하였고, nesC를 이용하여 구현하였다.

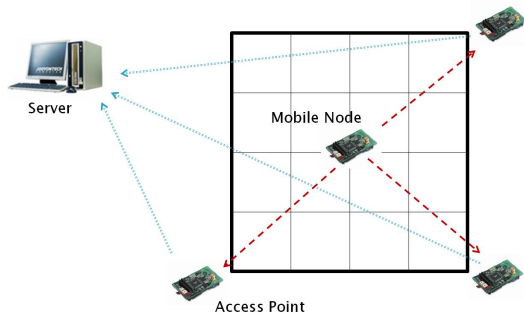


그림 4. ZigBee module의 동작 흐름

2) 위치 계산 서버

중앙 서버에서 동작하는 프로그램은 시리얼 통신을 통해 AP로부터 전송되어온 패킷을 수신한다. 각각의 RSSI값은 Curve Fitting을 이용한 전파 모델을 통해 거리로 변환되어 삼각측량법과 본 논문에서 제안하는 평균편차를 이용한 방법의 의해 모바일 노드의 위치 값은 x, y의 좌표로 변환되어 위치가 표현되어 진다. 중앙 위치 계산 서버의 구현은 Windows XP환경에서 Visual Studio 6.0의 C++ MFC를 이용하여 구현하였다.

2. 실험 환경

본 논문의 고정 AP 센서 노드의 배치는 아래 <그림 5>과 같다. 폭 8m, 길이 8m의 공학관 404호의 실내 공간에서 실험을 진행 하였다. 먼저 9곳의 측정 위치에서 신호를 전송하여 RSSI 데이터를 수집하였다. RSSI 데이터의 수집은 각각의 위치에서 100개씩 총 900개의 데이터를 전송 받았고, 4개의 AP에서 총 3600개의 데이터를 수집 하였다. 각 위치에서 수집된 데이터의 평균값과 Curve fitting을 이용하여 각각의 AP에서의 전파 모델을 결정하였다. 확립된 전파모델을 이용하여 기본적인 3개의 AP를 이용하여 모바일 노드의 위치 인식을 해 보았다. 또한 1개의 고정 AP를 추가하여 4개의 AP를 이용하여 실험하였다.

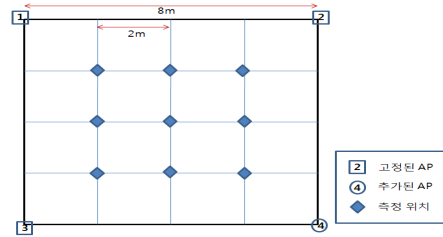


그림 5. 실험 환경

3. 실험 결과

<표 1>은 각 위치 지역의 좌표를 우선적으로 나타내고, 각 고정 AP로 부터의 거리 및 평균적으로 측정된 RSSI 값을 나타낸 것이다.

표 1. 고정 AP에서 각 지정 위치의 거리와 RSSI 평균 값

위치	거리 (AP 1)	RSSI (AP 1)	거리 (AP 2)	RSSI (AP 2)	거리 (AP 3)	RSSI (AP 3)	거리 (AP 4)	RSSI (AP 4)
(2, 2)	2.8	-53	6.3	-68	6.3	-66	8.48	-74
(2, 4)	4.47	-64	7.2	-68	4.47	-58	7.2	-65
(2, 6)	6.3	-68	8.48	-66	2.8	-55	6.3	-68
(4, 2)	4.47	-58	4.47	-58	7.2	-70	7.2	-71
(4, 4)	5.65	-60	5.65	-70	5.65	-65	5.65	-63
(4, 6)	7.2	-70	7.2	-70	4.47	-62	4.47	-57
(6, 2)	6.3	-68	2.8	-54	8.48	-65	6.3	-74
(6, 4)	7.2	-64	4.47	-55	7.2	-75	4.47	-68
(6, 6)	8.48	-70	6.3	-64	6.3	-71	2.8	-58

<그림 6>은 <표 1>를 토대로 각 지정 위치에서의 거리와 RSSI 평균값을 Curve Fitting을 통해 함수 관계식으로 나타낸 것이다. 또한 이를 사용하여 위치 계산 서버에서 사용하는 전파 환경 모델을 정의하였다. 거리가 증가할수록 로그 함수와 비례하여 RSSI 값도 점차 줄어드는 모습을 볼 수 있다.

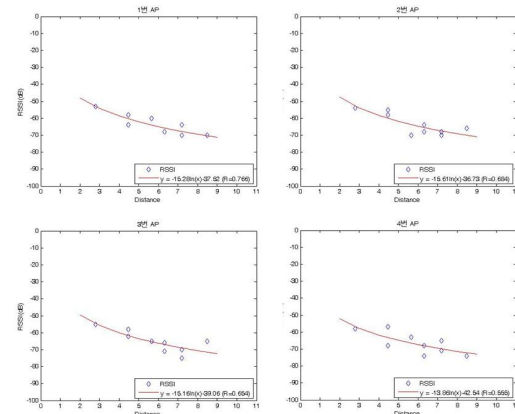


그림 6. 고정 노드에서의 RSSI와 거리의 관계

각 수식들은 이후의 위치 인식 실험에서 삼각 측량법을 통한 거리를 계산할 때 사용하였다.

다음은 3개의 고정 AP를 사용한 위치 인식 실험과 4개의 고정 AP를 사용한 위치 인식 실험을

하였다. <그림 7>은 모바일 노드의 좌표 (6m, 8m)에서 실험을 진행한 결과와 오차를 나타낸다.

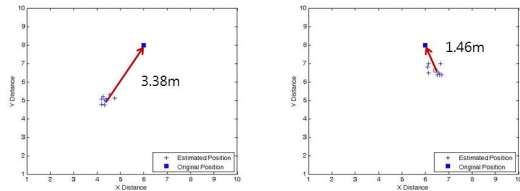


그림 7. (6, 8)에서의 위치 인식의 결과

다음은 모바일 노드의 좌표가 (4m, 4m) 일 때의 위치 인식의 결과이다.

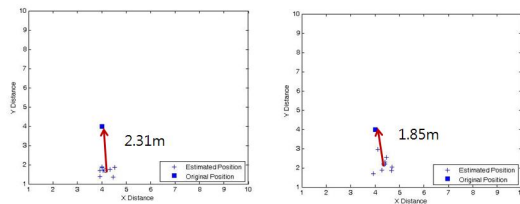


그림 8. (4, 4)에서의 위치 인식의 결과

<그림 7>에서는 3개의 AP로 측정하여 원래의 위치와 측정된 위치의 평균 오차가 3.38m인 것을 볼 수 있다. 4개의 AP에서 측정된 RSSI와 제안한 방법을 사용하여 위치의 오차를 1.46m로 줄일 수 있었다. 또한 <그림 8>은 제안한 방법을 이용하여 위치의 오차를 2.31m에서 1.85m로 줄일 수 있었다. 평균편차를 이용한 위치계산을 통해 기존의 3개의 고정 AP를 이용하는 것보다 오차율이 훨씬 줄어들어 많게는 1.92m, 적게는 0.46m의 오차를 줄일 수 있었다.

IV. 결론 및 향후 연구

유비쿼터스 시대가 도래함에 따라 사회적으로 실내 위치 추적 시스템에 대한 관심이 증가되었다. 본 논문에서는 유비쿼터스 환경에서 서비스를 제공하는데 필수 요소인 실내 모바일 노드의 위치를 효과적으로 파악하기 위한 실내 위치 추적 시스템과 알고리즘을 설명하였다. 위치 인식에 보편적으로 사용되는 RSSI와 삼각측량법 기반의 위치 인식 모델을 ZigBee module을 사용하여 실내 환경에 맞도록 구성하고 위치 인식의 효율성을 실험하였다.

이를 위해 본 논문에서는 RSSI의 실측값을 기반으로 Curve Fitting을 이용하여 전파 모델을 정의하였다. RSSI 값과 거리에 대한 관계를 찾기 위해 거리와 환경을 달리하며 RSSI를 측정하여 보았지만, 같은 거리임에도 불구하고 실내 공간 내 존재하는 가구, 벽, 높이가 높은 상자 등 주변 환경이 장애물이 되어 RSSI값이 불규칙하게 변화하는 현상을 발견하였다. 또한 모바일 노드의 안테나가 바라보는 방향에 따라서도 RSSI값의 변화가

적지 않았다. 때문에 Curve Fitting을 이용하여 각각의 AP의 위치의 변화에 따라 전파 모델을 달리 하였다.

또한 4개의 AP의 RSSI 값을 이용해 4개의 x, y 좌표의 평균 편차를 이용하여 M-6과 M+6 사이에 속하는 평균 편차 중 최소 평균 편차 값을 가장 정확한 모바일 노드의 위치로 선택하였다. 이를 통해 불규칙적인 RSSI 값을 배제하여 더욱 정확한 모바일 노드의 위치를 계산할 수 있었다.

초기에 TOF 대신 RSSI가 위치정보로 이용된 주된 이유는 근거리 통신 기술과 관련된 표준에 시간 정보를 이용할 수 있는 필드가 존재하지 않았기 때문이다. 하지만 최근에 IEEE 802.15.4a 표준이 완성되었고, TWR(Two-Way Ranging) 기술을 이용해 시간의 동기화 문제를 해결하면서 TOF를 이용하는 방법이 힘을 얻고 있다.

향후에는 TOF를 기반으로 하는 위치 인식 시스템에 본 논문에서 제안한 방법을 적용하는 방법에 대한 연구가 필요하다. 또한 5개 이상의 AP에서는 계산량이 비약적으로 증가하므로 3~4개씩 그룹을 지어 계층적인 방법으로 계산량을 줄이는 효율적인 알고리즘으로 개선하여야 할 것이다.

참고문헌

- [1] M. Weiser, "Hot Topic: Ubiquitous Computing," IEEE Computer, 1993
- [2] Kolodziej, Krzysztof W., "OpenLS for indoor Positioning : strategies for standardizing location based services for indoor use", Massachusetts, 2004
- [3] 조영수, 조성윤, 김병두, 이성호, 김재철, 최완식, "실내외 연속측위 기술 동향," 전자통신동향 분석, 22권 3호, pp. 20~28, 2007
- [4] N. B. Priyantha, A. Chakraborty and H. Balakrishnan, "The Cricket Location-support system," in Proceedings of the Sixth Annual ACM International Conference on Mobile Computing and Networking, 2000
- [5] R. Want, A. Hopper, V. Falcao, and J. Gibbons, "The Active Badge Location System," ACM Transactions on Information System, 1992
- [6] <http://www.cl.cam.ac.uk/research/dtg/research/wiki/BatSystem>
- [7] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, "RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System," IEEE INFOCOM 2000
- [8] ZigBee Specification - Network, Application, Profile, Framework, Device description, Binding, Security, ZigBee Alliance, 2005
- [9] 김학용, "RSSI와 TDOF의 비교", 2007
- [10] 김학용, "삼각측량법", 2005
- [11] 서창수, 이철희, "유비쿼터스 센서 네트워크 시스템," 한백전자 기술연구소, 2007