

초음파 및 IEEE 802.15.4a 기반 이변 측위를 이용한 고정밀 실내 위치 인식 기법*

남영진*, 박영균*, 남민석*
*대구대학교 컴퓨터·IT공학부
e-mail: yjnam@daegu.ac.kr

A High-Precision Indoor Localization Technique using Ultrasonic and/or IEEE 802.15.4a based Bilateralation

Young Jin Nam*, Young-Kyun Park*, Min-Seok Nam*
*School of Computer and Information Technology, Daegu University

요 약

최근 실내 위치 인식을 위하여 IEEE 802.15.4a에 기반한 거리측정 및 이 값들을 이용한 다양한 위치 인식 기법이 제안되고 있다. 본 논문에서는 실내에서 간단한 초음파 모듈과 적은 수의 IEEE 802.15.4a 노드를 이용하여 고정밀 위치정보를 제공하는 기법을 제시한다. 제안된 기법이 기존의 삼변측량기법에 비해서 실내환경에 존재하는 다양한 전파 방해에 덜 민감하여 보다 높은 정밀도를 제공한다는 것을 실제적인 구현과 실험을 통하여 검증한다. 또한, 제안된 기법은 삼변측량을 이용할 때보다 상대적으로 적은 수의 노드를 이용하기 때문에 경제적인 측면에서도 이점이 존재한다.

1. 서론

차량용 네비게이션, 관광지 안내 등의 실외 위치를 기반으로 한 서비스의 일반화와 더불어, 실내에서의 위치를 인식하기 위한 다양한 하드웨어와 기법들이 제안됨에 따라서 실내 위치를 기반으로 서비스들도 점차 활성화될 전망이다. 위치 인식을 위한 기본이 되는 것은 거리 인식이며, 일반적으로 위치가 알려진 여러 노드로부터 자신의 거리를 측정하여 최종 위치를 계산한다. 특히, 실내 위치 인식은 실외와 달리 GPS를 이용할 수 없다는 큰 제약점 때문에, 초음파, WLAN, IEEE 802.15.4, IEEE 802.15.4a[1] 등 다양한 형태의 하드웨어 장치와 알고리즘을 이용한 기법들이 거리 측정을 위해서 제안되고 있다.

무선 센서 네트워크를 위한 RF 모듈로 널리 이용되고 있는 IEEE 802.15.4의 경우에는 특정 노드로부터 수신되는 전파의 세기를 나타내는 RSSI(Received Signal Strength Indicator)[4]를 이용하여 거리를 계산하고 있다. 하지만, RSSI에서 제공되는 거리는 주변 전파의 상황, 사람의 움직임 등을 포함한 주변 환경에 매우 민감하게 반응하기 때문에 실제로 실내 측위를 위해 사용하기에는 너무 큰 오차가 존재한다는 문제점이 있다. 이러한 거리측정에 존재하는 민감성을 완화시키기 위해 IEEE 802.15.4a가 제안되었으며, 실내에서의 거리 측정 및 위치 인식을 위해 널리 사용되고 있는 추세이다. 실내에서 측정된 거리 정보를 이용하여, 자신의 위치를 계산하기 위해 널리 이용되는 방법 중의 하나는 삼변 측량 방법이다.

본 논문에서는 이러한 삼변측량을 실내 위치인식을 위해서 사용할 때 발생하는 여러 가지 문제점을 극복할 수 있는 고정밀 위치인식을 제공할 수 있는 기법을 제시하고, 무선 센서노드 상에서의 구현과 실제 환경에서의 다양

한 실험을 통하여 제안된 기법의 장점을 검증한다.

2. 관련연구

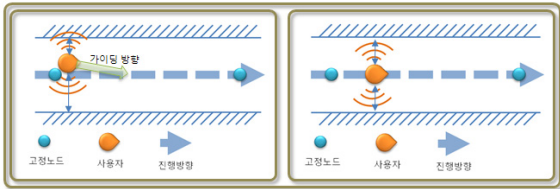
현재까지 연구된 기존의 센서노드를 이용해 위치를 추정하는 인식 기법에는 측정된 노드간 거리를 기반으로 위치를 추정하는 Range 기반 기법과 노드간 거리 측정 없이 추정하는 Range free 기법이 있다. Range기반 기법에서의 거리를 측정하기 위한 방법으로 신호의 세기(RSSD)값으로 거리를 계산하는 방법[4]이 대표적이었으며, 신호가 전송되는데 걸리는 시간과 신호의 속도를 이용하는 TOA[2]기법, 속도가 다른 두 신호를 이용하여 두 신호의 시간차를 이용하는 TDOA[3]기법, 전송된 신호의 각도를 이용하여 거리를 계산하는 AOA[2,3]기법, 거리 측정을 위한 특정 메시지와 응답 메시지를 이용한 TWR[1]기법이 대표적이다.

본 논문에서 제안하는 서비스는 정밀한 위치측정을 위해 노드간 거리를 기반으로 위치를 인식하는 Range 기반 기법을 이용한다. 하지만 신호가 전송되는데 걸리는 시간을 이용하는 TOA, TDOA를 이용하는 방식은 노드 간 시간동기화가 이루어져 있어야 이용 가능한 기술이며 AOA를 이용하는 방법은 신호의 각도를 측정하는 장비가 필요한 단점이 있다. RF를 이용한 거리측정에 대표적으로 사용되던 RSSI를 이용한 거리 측정 방법 또한 무선 랜 사용 사람의 움직임 등 주변 환경에 영향을 많이 받아 오차가 심해 IEEE 802.15.4a 표준의 TWR기법을 2회 반복하여 거리 측정의 정확도를 높인 SDS-TWR[5]기법을 사용한다. 측정된 거리를 기반으로 위치를 추정하는 기술에는 고정된 세 노드와의 거리로 교차점을 찾는 삼변측량 기법이 있고 노드의 거리 및 각을 이용하는 삼각측량 기법, 3개 이상의 고정노드와의 거리를 이용하는 기법이 있다.

* 본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업의 연구결과로 수행되었음

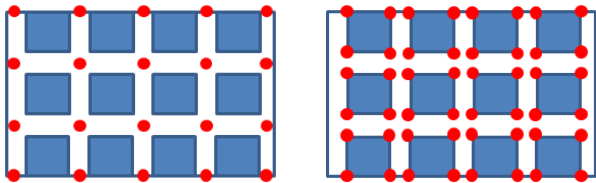
3. 제안기법

아래에서는 본 논문에서 제안하는 초음파와 IEEE 802.15.4a 기반 이변측량을 이용하는 고정밀 실내 위치인식 기법을 설명한다. 제안된 기법은 우선 그림 1과 같이 주위노드들로부터 거리 정보를 획득하기 전에 초음파 모듈을 이용하여 사용자의 좌, 우 양쪽의 거리를 펄스형태로 측정하고, 사용자의 좌, 우의 거리가 같을 때 까지 이동 통로의 중앙에 위치하도록 알려준다. 이 작업이 완료되면 이동 경로 상에 존재하는 전, 후 두 노드에 대해서 SDS-TWR을 이용해 거리를 측정한다.



(그림 1) 초음파 모듈을 이용한 초기 위치 보정

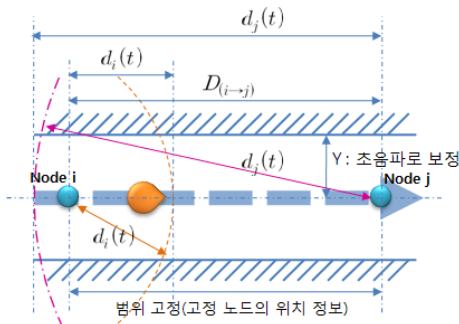
본 기법에서는 실내 위치 인식을 위해서 아래의 그림 2(가)와 같이 실내의 이동 경로상에 노드를 배치한다. 기존의 삼변측량기법을 이용할 경우에는 그림2(나)와 같이 노드를 배치하여 장애물의 방해 없이 세 개의 노드로부터 전파수신의 확보되어야 한다. 제안된 기법은 이러한 삼변측량 기법에 비해서 노드배치에 있어서 보다 적은수의 노드가 필요로 하기 때문에 적은 비용이 소요될 것으로 예상할 수 있다.



(그림 2) 실내 위치인식을 위한 노드배치 : (가) 제안된 기법(이변측량) 이용시, (나) 삼변측량 이용시

다음으로, 이변측량에 기반한 거리측정 기법에 대해서 설명하기로 한다. 거리 측정은 두 가지 경우로 분류할 수 있으며, 각각의 경우에 따라 다음 노드까지 남은거리를 계산하는 방법이 달라진다. 우선 사용자가 node i에서 node j로 이동한다고 가정하고, node i와 node j의 거리는 $D_{(i \rightarrow j)}$ 로 나타낸다. node i와 node j로부터 SDS-TWR을 통해 측정된 거리는 각각 $d_i(t)$, $d_j(t)$ 로 나타낸다.

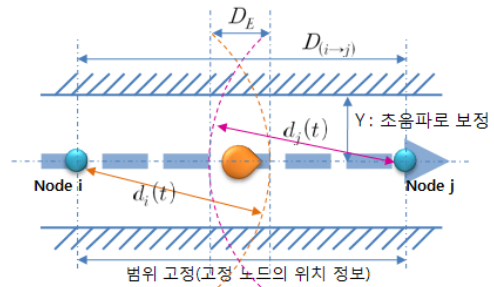
- 첫 번째로 사용자가 node i나 node j중 어느 한쪽에 가까운 경우가 있는데, 이때는 식 1과 같이 사용자로부터 먼 노드로부터 측정된 거리는 남은거리 계산에 포함시키지 않는다.



(그림 3) 제안된 기법을 이용한 거리측정(첫번째 경우: 어느 한쪽 노드에 근접한 경우)

$$\begin{aligned} \text{if}(d_i(t) < 0.5 D_{(i \rightarrow j)}), D_R &= D_{(i \rightarrow j)} - d_i(t), \\ \text{if}(d_j(t) < 0.5 D_{(i \rightarrow j)}), D_R &= d_j(t) \end{aligned} \quad (\text{식 1})$$

- 두 번째로 사용자가 node i나 node j의 중간 쯤에 위치한 경우가 있다. 이때는 식 2와같이 양쪽에서 측정된 거리를 $D_{(i \rightarrow j)}$ 로부터 오차를 구하고 node j로부터 남은 거리를 구한다.



(그림 4) 제안된 기법(이변측량)을 이용한 거리측정(두번째 경우: 두 노드에 중간에 있는 경우)

$$\begin{aligned} \text{if}(d_i(t) \geq \frac{D_{(i \rightarrow j)}}{2} \text{ AND } d_j(t) \geq \frac{D_{(i \rightarrow j)}}{2}) \\ D_E = | (d_i(t) + d_j(t)) - D_{(i \rightarrow j)} |, \\ D_R = d_i(t) - D_E \end{aligned} \quad (\text{식 2})$$

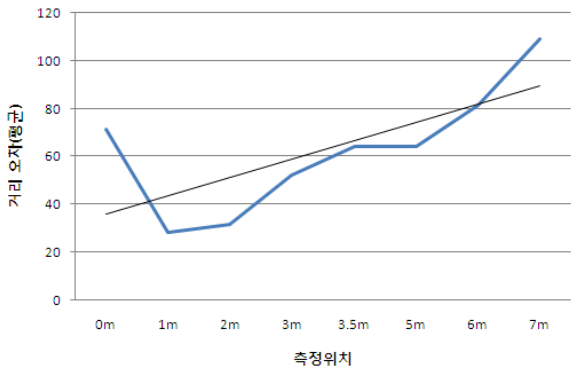
3. 성능평가

본 논문에서는 IEEE 802.15.4a 표준을 따르는 RFIC를 이용해 실내 위치인식을 위한 이변측량 기법을 구현하였으며, 제안된 기법(이변측량) 및 삼변측량의 위치인식 정밀도를 비교하기 위해서 우선 그림 5와 같이 노드를 배치하였다. 삼변측량은 복도 가장자리에 배치된 4개의 노드를 이용하고 있다.



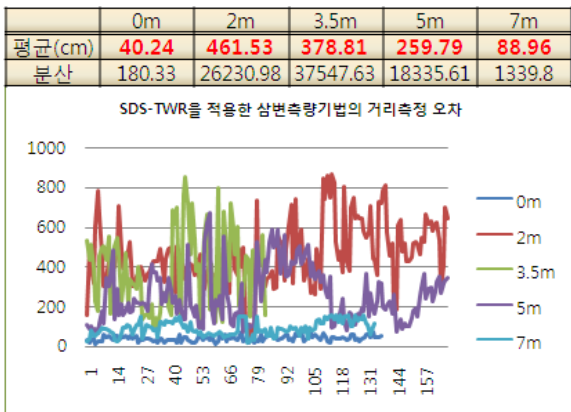
(그림 5) 실내위치 인식 실험환경: (가) 제안기법(이변측량)을 위한 노드배치, (나) 삼변측량을 위한 노드배치

제안기법과 삼변측량의 성능을 비교 분석하기 위해 앞서 거리측정을 담당하는 SDS-TWR의 정밀도를 분석한다. 그림 5(가)의 환경과 같이 노드1에서 노드2의 방향으로 0m, 1m, 2m, 3m, 3.5m, 5m, 6m, 7m 지점에서 각각 3분가량 측정하였으며, 반복실험 후 측정된 거리 오차의 평균을 그림 6에 나타내었다. 결과에 따르면 SDS-TWR은 실내에서 최대 1m내의 오차가 있음을 볼 수 있다.



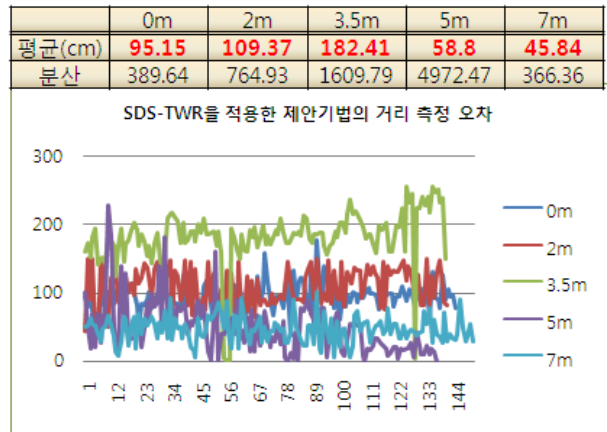
(그림 6) SDS-TWR 거리 오차의 평균(y축: 거리오차의 절대값 평균(단위: cm))

그림 7은 삼변측량을 이용할 때의 위치인식정밀도 분석결과를 보여주고 있다. 0m와 7m를 제외한 나머지 위치에서 오차도 심해짐을 볼 수 있는데, 이는 거리가 늘어남에 따라 반사물이나 연구실의 철제 문 등 방해요인이 많아짐에 따른 것으로 분석된다. 즉, 배치노드에서 위치인식을 위한 노드로 전파를 전송하는 방향이 복도를 가로 지르는 사선방향이기 때문에 벽 혹은 철제문에 전파가 반사되는 확률이 높아진다. 2m되는 지점에서는 최대 오차인 4.6m정도의 평균오차가 발생하였으며(최대오차는 8m 이상), 측정된 위치의 분산도 매우 크다는 것을 볼 수 있다.



(그림 7) 삼변측량 기법의 거리측정 오차(x축: 샘플순서, y축: 거리오차의 절대값(단위: cm))

그림 8은 제안된 기법을 이용할 때의 위치인식정밀도 분석결과를 보여주고 있다. 0m를 제외한 나머지 위치에서 오차가 삼변측량에 비해서 현저히 낮음을 볼 수 있다. 이는 배치노드에서 위치인식을 위한 노드로 전파를 복도를 따라서 전송하기에 주위에 존재하는 여러 가지 전파 장애물에 의한 영향을 덜 받기 때문으로 분석된다. 0m의 경우에 제안된 기법의 오차가 다소 커지는 이유는 측정시에 위치인식을 위한 노드에 노드 1로부터 전파가 도착할 때에 노드 1번으로 향해있는 노드 지지대에 가로막혀있어서 생기는 문제로 파악되었다. (참고로, 7m일 경우에는 이러한 문제가 발생하지 않았다.) 삼변측량에 비해 제안기법은 모든 위치에 대해 평균오차가 1.8m(최대오차는 2.5m)를 넘지 않는 것을 볼 수 있으며, 분산 또한 매우 적음을 확인할 수 있다.



(그림 8) 삼변측량 기법의 거리측정 오차(x축: 샘플순서, y축: 거리오차의 절대값(단위: cm))

4. 결론 및 향후계획

본 논문에서는 초음파를 이용하여 복도 중앙으로 가이딩하고, IEEE 802.15.4a 표준을 따르는 RFIC를 이용해 실내 위치인식을 위한 이변측량 기법을 설계 및 구현하였다. 제안기법의 성능평가를 위해, 현재 많이 이용되고 있는 삼변측량과 비교 및 분석하였다. 평가 결과 삼변측량의 최대 평균오차는 약 4.6m이상 오차를 보이는 반면, 제안기법은 최대 평균오차가 1.8m를 넘지 않음을 볼 수 있었다. 이는 제안기법이 측정된 거리를 모두 사용하지 않고 진행 방향에 따라 거리가 멀어져 방해요인이 많이 포함된 상황에서 측정된 거리는 참조하지 않는 직관적인 방법을 사용하기 때문에 가능하다. 제안된 기법은 실내 위치인식 및 안내 시스템에 적용 가능하며, 실제로 그림 2(가)와 같이 복도를 따라 고정노드들을 설치하고 자체적으로 실내 복도 경로에 대한 맵을 만들어 제안된 기법을 이용한 실내 안내 시스템을 만들어 데모를 성공적으로 진행하였다.

참고문헌

- [1] Z. Sahinoglu and S. Gezici, "Ranging in the IEEE 802.15.4a Standard," WAMICON, 2006.
- [2] T.Y. Chen, C.C. Chiu, T.C. Tu, "Mixing and Combining with AOA and TOA for Enhanced Accuracy of Mobile Location," IEE, Michael Faraday House, Stevenage, 2003.
- [3] L. Cong and W. Zhuang, "Hybrid TDOA/AOA Mobile UserLocation for Wideband CDMA Cellular Systems," IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol.1, No.3, July 2002.
- [4] C Alippi and G Vanini, "A RSSI-based and calibrated centralized localization technique forWireless Sensor Networks," PERCOMW, 2006.
- [5] Y. Jiang and V. Leung, "An Asymmetric Double Sided Two-Way Ranging for Crystal Offset," ISSSE, 2007.
- [6] Z. Chaczko, R. Klempous, J. Nikodem and M. Nikodem, "Methods of Sensors Localization in Wireless Sensor Networks," ECBS, 2007.