

비동기 환경에서의 RSSI 를 이용한 센서 위치 추적

정동원, 김성수
아주대학교 정보통신전문대학원
e-mail : {windsage, sskim}@ajou.ac.kr

Tracking Location of Sensor Node by RSSI without Synchronization

Dong-Won Jung, SuYong Park, Sungsoo Kim
Graduate School of Information and Communication, Ajou University

요 약

이미 많은 시간동기화 기반의 트래킹 기술들이 제시되었지만 시간동기화 유지의 문제점 등으로 실환경에 맞는 새로운 방법이 필요하다. 따라서 본 논문의 목적은 건물이나 집 안에서와 같이 수~수십 m 사이의 공간 안에 움직이는 센서 노드의 위치를 시간동기화가 필요 없는 RSSI 방법과 삼각함수법을 이용하여 추적하는 방법을 제시하는 것이다.

1. 서 론

현재 센서네트워크에서 센서의 위치를 추적하기 위해서 개발되어진 대부분의 트래킹 알고리즘들은 시간동기화를 기반으로 하고 있다. 이는 전파의 송신시간과 수신시간을 알면 센서 간의 거리를 구할 수 있기 때문이다.

하지만 단거리를 측정하기 위해서 센서마다 시간 정보를 유지하는 것은 엄청난 양의 에너지를 소모하기 때문에 시간동기화를 이외의 방법으로 거리를 구하는 방법과 그에 맞는 새로운 트래킹 방법이 있어야만 한다.

따라서 본 논문에서는 신호전력을 측정할 수 있는 기능을 가진 Zigbee 를 이용하여 건물 내의 수~수십 m 의 비교적 센서의 밀도가 높은 지역에서 RSSI[1](Recived Signal Strength Indication) 이용한 거리 측정을 기반으로 삼각함수법[2]을 응용하여 센서의 위치를 추정하는 방법을 제시하였다.

2. 관련 연구

최근까지 가장 널리 쓰이고 있는 위치 추적 알고리즘으로는 TOA 와 3/2 NA Algorithm[3]등을 들 수 있다. 이 알고리즘들은 이미 자신의 절대 위치를 알고 있는 2~3 개의 고정된 노드로부터 찾고자 하는 센서 노드까지의 거리를 이용하여 센서 노드의 위치를 정확하게 알아내는 알고리즘들이다.

그러나 시간동기화 기반의 알고리즘이기 때문에 센서 네트워크에 적용하기에는 다음과 같은 문제점들이 발생할 수 있다. 일반적으로 무선 센서들은 활동을 하지 않는 상태에서는 수면 상태로 변하기 때문에 시간 정보를 유지할 수가 없게 된다. 따라서 센서가 다시 활동을 시작할 때에는 시간 정보를 잃어버렸거나 재동기화를 원할 경우에도 그림 1 처럼 베이스스테이션까지의 거리를 알 수 없기 때문에 재동기화로 얻어진 시간 정보는 오차를 포함한 과거의 시간이고 센서에서 동시에 시간 정보를 요청하여도 고정노드에 가까운 노드일수록 정보를 더 빨리 받기 때문에 다른 노드보다 빠른 시간정보를 가질 수 밖에 없다. 게다가 노드가 이동할 경우 오차는 더욱 커질 수 밖에 없다. 더 큰 문제는 마이크로 환경처럼 수~수십 m 사이

본 연구는 정보통신부 21 세기프론티어연구개발사업의 일환으로 추진되고 있는 유비쿼터스컴퓨팅네트워크원천기술개발사업의 지원에 의한 것임.

이 논문은 2005 년도 두뇌한국 21 사업에 의하여 지원되었음.

의 거리를 빛의 속도를 가진 전파를 이용하여 거리를 측정하는 방법은 정교한 시간측정 및 유지를 해야 하기 때문에 시간동기화 방법으로 거리를 측정한다면 엄청난 양의 계산 및 에너지의 소모를 초래할 수 있다.

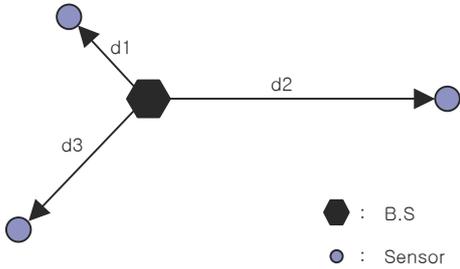


그림 1. 센서 노드들은 거리를 고려한 시간정보를 받지 못하기 때문에 시간 정보에 오차가 발생한다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서 마이크로 환경에 위치추적 알고리즘을 적용할 때에는 전파의 속도보다 느린 초음파를 이용한 거리측정이 주를 이룬다. 하지만 초음파 송수신장치를 장착한 센서만이 위치를 파악할 수 있을 뿐 기본적인 RF 통신만을 할 수 있는 센서는 위치 파악이 불가능하다. 게다가 초음파 송수신 장비를 별도로 장착하는 경우 센서의 단가가 높아지기 때문에 바람직하지 못하다.

따라서 본 논문에서는 별도의 장비없이 이미 센서의 통신용칩으로 널리 사용중인 Zigbee의 신호전력 감지 기능을 이용하여 RSSI 방식으로 거리를 측정하려고 한다. RSSI란 전파의 세기가 거리에 따라 log 법칙을 따라서 약해지는 것을 이용하여 거리를 측정하는 방법이지만 multi-path, fading 및 shadowing 현상으로 원거리의 거리 측정이 힘들다는 단점이 있다. 따라서 오차를 줄이기 위해서는 단위 면적당 고정노드의 밀도를 높여 단거리 측정을 해야 하지만 이런 방법은 확장성이 떨어지고 초기설치 비용 및 관리비용이 증가하기 때문에 바람직하지 못하다.

따라서 본 논문에서는 RSSI 방법으로 거리를 측정하여 기본적인 RF 통신만으로 위치를 추정하지만 다른 한편으로 단위 면적당 고정노드의 밀도를 줄이기 위한 방법을 제시하는 것이 목적이다.

3. 지역분할 위치추적

Zigbee의 구현을 기술한 IEEE 802.15 문서에 따르면 Zigbee은 메모리를 갖느냐와 아니냐의 차이로 2가지 기종으로 분류될 수 있다[3]. 이러한 차이로 메모리를 가질 수 있는 RN+기종은 라우팅 테이블 및 여러가지 정보를 메모리에 저장할 수 있는 반면 RN-기종은 단순히 센싱으로 얻어진 정보만을 포워딩할 수 있는 기종이다. 물론 Zigbee로 구현한 센서 네트워크는 아직 없지만, 머지않은 미래에 이 2가지 기종이 각각의 영역에 맞추어 구현될 것으로 전망된다. 본 논문에서는 RN+기종이 RN-기종보다 좀 더 많은 배터리량을 보유하고 좀 더 액티브한 센서로 쓰인다고 가

정한다.

단위 면적 당 필요한 고정노드의 개수를 줄이는 기본적인 개념은 그림 2처럼 건물의 실내를 좀 더 작은 클러스터 지역으로 나눔으로써[4] 센서들이 신호전력 측정 기능을 이용한 RSSI 방식으로 거리를 측정하더라도 보다 가까운 거리에서 측정할 수 있도록 하는 것이다. 브로드캐스팅을 방지하기 위해서 클러스터 지역 안의 각 RN+노드는 스스로 각 노드와의 거리를 측정한 뒤 이것을 클러스터 헤드로 보내고 헤드에서는 다른 헤드와의 교신 또는 베이스스테이션과의 교신으로 자신의 라우팅 테이블 정보를 베이스스테이션으로 보내어 삼각함수법으로 노드의 위치를 추적하는 방법이다.

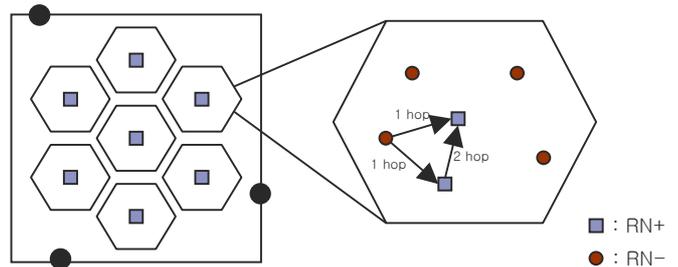


그림 2. 클러스터 헤드가 클러스터 공간 안의 노드에 대해 거리를 측정하는 모습.

삼각함수법에 따르면 3변의 길이를 알면 하나의 삼각형을 그릴 수 있듯이 3점의 노드 간의 거리를 알면 3개의 노드가 어떤 구조로 분포되어 있는지를 알 수 있다. 하지만 이 추정은 방향정보가 누락되었을 뿐만 아니라 절대 위치를 가진 고정점을 기준으로 삼을 수 없기 때문에 노드의 위치를 추적하는 것이 불가능하다.

신호의 발원지가 RN-노드인 경우 이 센서의 위치를 삼각함수법으로 추적하기 위해서는 그림 2의 오른쪽 그림처럼 헤드와 2 hop 떨어진 거리를 측정해야만 한다. 2 hop 거리를 측정하기 위해서는 헤드 외에 또 하나의 따라서 본 논문에서는 한 클러스터 지역 안에 최소한 2개의 고정 노드 혹은 RN+노드가 있다고 가정한다.

그림 2처럼 클러스터링으로 장벽을 쳐둔다고 하더라도 클러스터 지역 간에 통신이 불가능하지는 않다. 따라서 한 헤드가 인접한 다른 클러스터링 헤드와 통신할 경우에 RSSI로 거리를 측정할 수 있기 때문에 일종의 다리 역할을 하는 헤드 노드들을 연결함으로써 그림 4처럼 2개의 클러스터 지역을 통합할 수가 있게 된다. 또는 2개의 클러스터 지역의 중간 부분에 위치한 노드들은 양쪽의 라우팅 테이블에 거리를 측정할 수 있기 때문에 이 노드들을 이용해서도 두 클러스터 지역을 통합할 수 있다. 여기서 말하는 클러스터 지역 통합은 노드의 위치를 추적하기 위해서 베이스스테이션의 시뮬레이션 단계에서만 행해지는 일련의 과정들이다. 이러한 과정을 통하여 클러스터 헤

드간의 사잇각을 알 수 있지만 클러스터링 지역 안의 노드 위치는 방향 정보 및 고정점이 없기 때문에 불분명한 상태이다.

위의 방법처럼 클러스터 지역을 통합해 나가면서 컴퓨터 그래픽 분야에서 폴리곤을 처리하듯이 일단 한 점을 기준으로 정하고 다른 노드의 상대 좌표를 구해나간다면 위치는 알 수 없지만 네트워크에 노드가 어떤 구조로 분포되어 있는지는 알 수 있다.

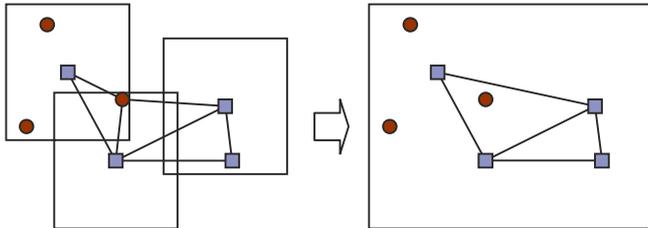


그림 3. 클러스터 지역을 합치는 모습

위의 방식대로 지속적으로 클러스터 지역을 통합하게 되면 절대좌표위치를 알고 있는 1 번째 고정노드가 속해 있는 클러스터 지역과 통합하게 된다. 이 때 최소한 하나의 고정점을 갖게 되고 이 점을 기준으로 다른 노드들은 상대위치를 갖게 된다. 하지만 고정노드와 각 노드 간의 사잇각을 알 수 없기 때문에 상대 위치로 밖에 추정이 불가능하다. 이러한 문제점은 2 번째의 고정노드가 속해 있는 클러스터 지역과 통합한다면 해결된다. 그림 5 처럼 1 번째의 고정노드 기준으로 시뮬레이션 했던 2 번째 고정노드의 상대 위치와 실제 2 번째 위치간의 사잇각을 계산할 수 있고 시뮬레이션 되었던 라우팅 테이블 안의 모든 노드들에 대해서 사잇각 만큼 회전시킨다면 절대 위치를 계산할 수 있다.

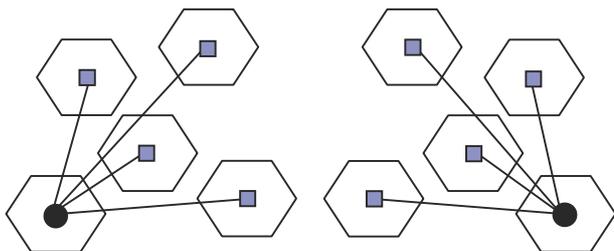


그림 4. 위의 그림은 상대좌표를 절대좌표로 변환 시켰을 때 나올 수 있는 경우의 수 중 2 가지이다.

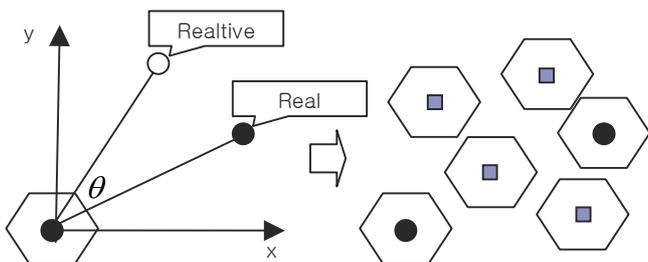


그림 5. 상대 좌표를 회전시키면 노드의 절대좌표를 구할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \times A = B \quad \begin{cases} A = \text{상대위치} \\ B = \text{절대위치} \end{cases}$$

4. Clustering and Data Aggregation

각 클러스터의 헤드는 베이스스테이션에서 각 센서가 보유하고 있는 배터리 보유량과 현재의 위치를 고려한 후 선출하고 근접한 다른 클러스터의 헤더들과 라우팅 테이블 정보를 주고 받게 된다.

만약 단일 RN+ 헤더가 아니라면 한 클러스터 내에서 헤더를 제외한 다른 나머지의 RN+들의 경우 똑같은 노드에 대하여 라우팅 테이블에 거리를 측정할 수도 있다. 이 경우 헤더는 클러스터내의 RN+노드들과의 통신으로 자신의 테이블과 다른 테이블을 비교한 후 가장 거리가 짧은 노드 간의 거리를 테이블에 저장한다.

5. 오차 최소화

비록 단거리 측정을 한다 하더라도 오차가 섞일 수 있는 여지는 충분하다. 따라서 오차가 섞인 거리를 토대로 시뮬레이션된 노드 위치의 오차를 최소화할 수 있는 방법이 필요하다. 이러한 상황은 Least Square Solution 으로 오차를 최소화시킬 수 있다. 그림 6 에서처럼 일정 시간간격으로 측정한 위치가 서로 다르다면 각각의 위치와의 거리와 최소가 되는 점을 위치로 추정하는 방법이다. 하지만 점 3 개를 이용하여 Least Square Solution 을 적용한다면 3 번의 데이터 측정 후에 노드의 위치추적을 할 수 있다는 단점이 있다.

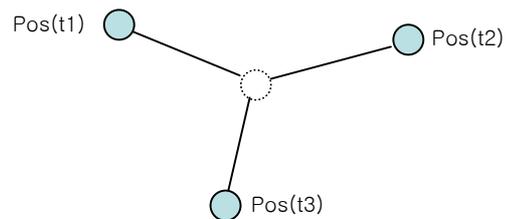


그림 6. 3 점의 위치에 오차가 있다면 3 점으로부터의 거리의 합이 가장 짧은 점을 실제 노드의 위치로 추정한다.

$$\min \sum_i^n \sqrt{(X - x_i)^2 + (Y - y_i)^2} - d_i$$

6. 분석

본 논문에서 가정하고 있는 환경은 Radio Propagation Model 이고 목적은 단거리 측정으로 RSSI 의 오차를 줄이기 위함이다. 하지만 단거리 측정을 할 때 더 정확한 위치를 구할 수 있음을 증명해야만 한다. 이 증명을 위해서 아래와 같이 널리 쓰이고 있는 시뮬레이션 NS2 의 신호세기 감쇄 법칙을 이용하기로 하였다.

$$P(d)[dBm] = P(d_0)[dBm] - 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) \pm X\sigma$$

여기서 d_0 은 전파를 발사한 발원지일 수도 있지만 일반적인 의미는 발원지에서 d_0 의 거리만큼 떨어진 지역을 의미한다. $P(d)$ 는 발원지에서부터 d 거리만큼 떨어진 곳에서의 신호세기를 의미하고, n 은 거리에 따른 신호 감쇄비율을 의미한다. $X\sigma$ 은 Shadowing 현상으로 생기는 신호의 증폭현상이나 감쇄현상을 의미하지만 실제 상황에서는 이 신호의 세기를 예측할 수 없기 때문에 Gaussian Random Variable 을 이용한 확률적인 값을 사용한다.

이 밖에도 벽으로 인한 감쇄현상 법칙도 있지만 본 논문에서는 지역을 크게는 톨 단위로 클러스터링함으로써 노드들 사이에 벽이 있을 수 없다. 따라서 Wall Attenuation Factor(WAF) 법칙은 추가하지 않았다.

그리고 일반적으로 Gaussian Random Variable 은 다음의 법칙을 따른다.

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(x-\bar{X})^2}{2\sigma^2}\right]$$

일반적으로 Shadowing 현상은 cos 법칙을 따르기 때문에 위의 공식에서 오차로 인한 신호세기의 \bar{X} (평균값)은 0 이라고 가정한다. 그리고 실내의 경우 환경적인 영향을 받지만 일반적으로 σ (표준편차)의 경우 3[dBm]의 값을 가지게 되고 n 의 경우 3 의 값을 일반적으로 갖게 된다.

결국 위의 모델을 사용하게 된다면 Shadowing 현상으로 생기는 특정한 신호 세기의 오차는 거리와 관계없이 확률과 관련됨을 알 수 있다. 따라서 Shadowing 현상으로 생기는 오차를 0[dBm]에서부터 3[dBm]까지 증가시키면서 거리에 따라 발생하는 오차의 크기를 측정한다. 거리에 따른 오차를 측정하기 위해서 전파 신호의 발원지에서 d_0 까지의 거리를 1m 그리고 d_0 에서 측정된 전파의 세기를 25[dBm]이라고 가정하고 오차를 계산하면 그림 7 과 같이 나타난다. 결론은 Shadowing 현상으로 인한 에너지 측정의 오차로 인해 노드 간의 거리가 멀어질수록 오차는 점점 증가하는 것을 볼 수 있다.

7. 결 론

RSSI 방법으로 거리를 측정할 경우 Shadowing 현상으로 거리측정에 오차가 생길 수 있다. 이 오차를 줄일 수 있는 방법은 가능하면 노드 간의 간격을 좁힌 채 거리를 측정하는 방법밖에는 없지만 별도의 장비 없이 센서의 위치를 추적하기 위해서는 실내에 단위 면적당 대단히 많은 수의 고정노드 혹은 GPS 노드를 설치하는 것은 비효율적이다. 따라서 클러스터링 기법으로 센서 스스로 거리를 측정하고 위치를 추정할 수 있게 된다면 필요한 고정노드의 수를 줄일 수 있고 좀 더 확장성 있는 센서 네트워크를 구현할 수 있다. 하지만 단위 면적당 센서 노드의 수가 줄어들수록 오차로 인하여 serviceability 가 떨어진다는 단점이 있

다.

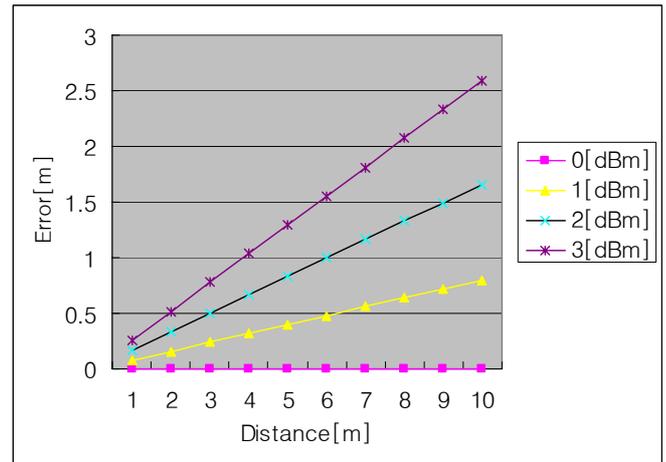


그림 7. Shadowing 현상으로 인한 신호세기의 오차가 일정한 경우 노드 간의 거리에 따라서 거리 측정에 오차가 증가한다.

참고문헌

- [1] P. Bahl and V. Padmanabhan, "RADAR: An In Building RF-based User Location and Tracking System," IEEE Infocom 2000, Vol. 2, pp. 775-784, Mar. 2000.
- [2] S. Capkun, M. Hamdi and J. Hubaux, "GPS-free Positioning in Mobile Ad Hoc Networks," Cluster Computing Journal, Vol. 5, No. 2, pp. 157-167, Apr. 2002.
- [3] M. Barbeau, et al., "Improving Distance Based Geographic Location Techniques in Sensor Network," International Conference on AD-HOC Networks & Wireless, pp. 197-210, July 2004.
- [4] Z. Sahinoglu and A. Catovic, "A Hybrid Location Estimation Scheme (H-LES) for Partially Synchronized Wireless Sensor Networks," In IEEE 2004 International Conference Communications, pp. 3797-3801, June 2004.
- [5] C. Lin and M. Gerla, "Adaptive Clustering for Mobile Wireless Networks," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 15, No. 7, pp. 1265-1275, Sep. 1997.