

무선 센서 네트워크에서의 노드의 상대위치 추정방법

이현준*, 이경오**

신문대학교 컴퓨터정보학과

e-mail : dlab@sunmoon.ac.kr*, leeko@sunmoon.ac.kr**

A estimated Method of Node's relative position in Wireless Sensor Network

Hyunjun Lee*, Kyungoh Lee**

Dept. of Computer Science, sunmoon University

요 약

무선 센서 네트워크에 대한 연구에서 센서 노드로부터 발생한 데이터는 데이터 그 자체의 의미도 중요하지만, 데이터의 발생 위치 역시 매우 중요하다고 할 수 있다. 기존 연구로 센서 노드의 위치를 추정할 수 많은 방법들이 있지만, GPS 를 이용하거나 절대적인 위치를 알고 있는 앵커 노드 등을 이용하는 방법들은 추가적인 하드웨어 및 여러 번의 통신이 필요하게 되고 그에 따라 에너지 소비의 증가와 앵커 노드의 손실에 의한 오차의 확대 등 많은 문제를 갖고 있다. 본 논문에서는 센서 노드를 하드웨어적으로 단순화 할 수 있는 거리에 기반하지 않은(range-free) 방식을 사용하여 무선 센서 네트워크에서 싱크 노드로부터 센서 노드의 상대적인 위치를 추정하고 추정 데이터를 기반으로 싱크 노드에서 보정하는 방법으로 자원의 제약에서 비교적 자유로운 싱크 노드의 역할을 증대시킨 위치 추정 및 보정방법에 대해 설명한다.

1. 서론

센서 네트워크에서 센서 노드로부터 발생한 데이터들은 네트워크 환경에 적당한 라우팅 경로를 따라서 싱크 노드에게 전달된다. 싱크 노드는 자원의 제약이 많은 일반적인 센서 노드들과는 달리 자신의 정확한 위치를 알고 있고, 계산 능력 및 사용전력에 대한 제약이 없다. 각 센서 노드들은 GPS[1]를 이용하거나, ToA[3]나, AoA[4]와 같은 기존의 위치 추정 기법을 이용하여 자신의 위치 정보를 계산한다. 하지만, 기존의 연구된 방법들은 대부분 신호의 도착시간, 신호 세기 등을 이용하기 때문에 주어진 환경에 따라 Multi-Path Fading 현상 또는 NLOS(Non Line-Of-Sight)에 의해 오차가 커질 수 있으며 거리에 기반한 방법의 경우, 추가적인 하드웨어가 필요하게 되어 에너지 소비 및 센서 모듈의 복잡도가 증가하게 된다. 이에, 본 논문에서는 기존에 연구된 range-free 한 위치추정기법들을 이용해 싱크 노드에서 수집한 센서 노드와 싱크 노드 간의 거리정보만을 이용하여 싱크 노드로부터의 상대적인 좌표값을 계산하고 계산된 데이터들을 기반으로 싱크노드에서 센서 노드들의 위치를 보정하는 방법이 필요하다.

2. 관련연구

위치 추정 기법은 센서 노드에 각 노드간 거리를 측정할 수 있는 추가적인 장비들을 장착하여 노드간의 상대위치를 구할 수 있는 거리에 기반한(range-based) 방식과 각 센서 노드에 추가적인 하드웨어 없

이 위치를 선정하는 방법인 거리에 기반하지 않은(range-free) 방식이 있다. 일반적으로 거리에 기반한 방식은 GPS 를 장착한 소수의 앵커 노드를 이용하여 상대적인 센서 노드들의 위치를 판별하는 방법이다. 거리에 기반한 방식으로는 ToA (Time of Arrival)[2], TDoA (Time Difference of Arrival)[3], AoA (Angle of Arrival)[4], RSSI (Received Signal Strength Indicator)[5] 등이 있다. 이러한 방법들은 모두 신호의 세기나 도착시간의 차이등을 이용하는 것으로써 추가적인 하드웨어가 필요하며, 같은 이유로 에너지 소모가 높다는 단점이 있다. 이에 반해 거리에 기반 하지 않은 방식의 경우, 추가적인 하드웨어는 필요치 않으나 정확도를 높이기 위해서는 자신의 절대위치를 알고 있는 앵커(anchor)노드가 필요하게 되며, 센서 노드들 간의 정보교환으로 인한 네트워크의 혼잡도가 증가하고 소수의 앵커 노드로 인한 오차가 확산될 수 있으며 넓은 지역에는 적용하기 어렵다는 단점을 가지고 있다. Centroid, APIT (Approximate Point in Triangulation), CPE (Convex Position Estimation), DRLS (Distributed Range-free Localization Scheme) 등의 프로젝트들이 이에 속한다.

2-1. ToA(Time of Arrival)[2]

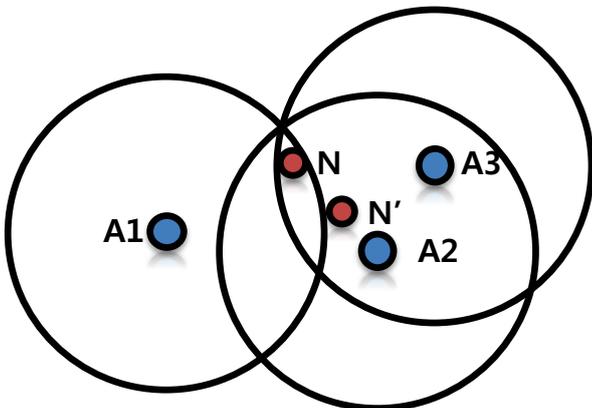
ToA 는 신호가 도착하는 시간을 이용해서 위치를 추정하는 알고리즘이다. 대표적인 예로 GPS 를 들 수 있는데, 이는 센서에서 목표까지의 신호 도착시간에 신호에 따른 적절한 상수를 곱하여 거리를 산정하고 두개이상의 센서에서 목표까지의 거리를 반경으로 하

는 원들의 교점을 목표의 위치로 하는 방식이다. 센서의 개수가 늘어날수록 더욱 정교한 위치측정이 가능하지만, GPS 의 경우, 실내에서는 측정이 불가능한 단점이 있다.

2-2. RSSI[5]

RSSI(Receive Signal Strength Indicator) 는 수신되는 노드에서 수신신호의 세기를 측정하여 신호에 따른 확률분포에 의거하여 노드간의 거리를 추정하는 방식이다. 하지만 이 방식은 센싱 필드의 장애물이나 환경에 따라 수신 신호의 세기가 달라질 수 있으므로, 센싱 필드의 구축 과정에서 미리 정의된 다양한 지점에서의 신호세기들을 측정해 두어야 하고, 센싱 필드에 많은 장애물이 존재하거나, 복잡한 실내 간은 경우 그 오차가 매우 커질 수 있다.

2-3. Centroid[6]



(그림 1) Centroid

Centroid 는 range-free 방식으로써 각 센서 노드들은 그림 1 에서 보는 바와 같이 이웃하는 앵커노드(A1, A2, A3)로부터 위치정보를 전송 받고, 앵커 노드들의 평균 위치점을 계산하여 위치 선정하는 방식이다. 이 방식은 노드에 특별한 하드웨어를 추가하지 않고도 위치를 추정할 수 있다는 장점이 있으나, 센싱 영역 안에 앵커 노드의 수가 많아야 하고, 앵커 노드가 일정하게 분포 되어 있어야 한다는 단점이 있다.

3. 제안방식

일반적인 센서 네트워크 환경은 하나의 싱크 노드와 다수의 센서 노드로 구성되어 있다. 싱크 노드는 우선으로 연결되어 자신의 절대적인 위치정보를 갖고 있으며, 센서 노드와 비교하여 보다 넓은 전송범위와 무한정의 전력사용량을 갖고 있다. 그에 비해 센서 노드들은 배터리로 동작하고 자원에 제약이 심한 경우가 대부분이며, 자신의 위치 정보 또한 알 수 없다. 하지만, 센서 들은 주변 노드들과의 통신을 통해 주변 노드들의 정보를 취득할 수 있으며, 그 정보를 패킷을 통하여 적절한 라우팅 경로로 싱크노드까지 전달할 수 있다. 이러한 환경에서 센서들의 위치 정보는 센서가 취득한 센싱 정보와 함께 센서 네트워크

서비스에서 매우 중요한 정보로 취급되고 있다.

제안하는 노드 위치 추정 기법은 초기화 및 라우팅 경로 생성시 취득할 수 있는 이웃 노드들의 정보와 신호 세기를 이용하여 노드의 위치를 추정한다.[8] 신호 세기에 따른 거리는 식 (1)의 Friis Free Space 공식 [7]을 사용하여 구할 수 있다.

$$\frac{P_r}{P_t} = G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 \quad (1)$$

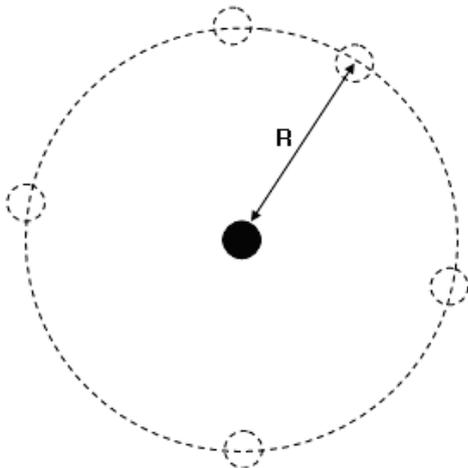
식 (1)에서 G_t 는 송신 안테나의 이득, G_r 은 수신 안테나 이득을 뜻하며, P_r 은 수신전력, P_t 는 송신전력, λ 는 전파의 파장, R 은 거리를 뜻한다. 그러므로, 식 (1)을 이용하여 거리를 계산할 수 있다.

$$R = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{G_t G_r P_t}{P_r}} \quad (2)$$

앞서 살펴본 것과 같이, 두 개의 노드가 통신을 하면 식(1)과 식(2)를 통하여 노드간의 거리를 계산할 수 있다. 그러나, 통신 환경에 따라 많은 오차가 발생할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 정확한 위치정보를 알고 있는 싱크 노드와 센서 노드와의 통신으로 싱크 노드와 센서 노드간의 거리를 계산하고 거리 정보를 기반으로하여 노드의 상대적인 위치를 추정하고 추정한 노드들의 위치 정보를 이용하여 보다 정확한 위치로 보정하는 방법을 제안한다.

3-1. 거리정보에 기반한 좌표의 선정

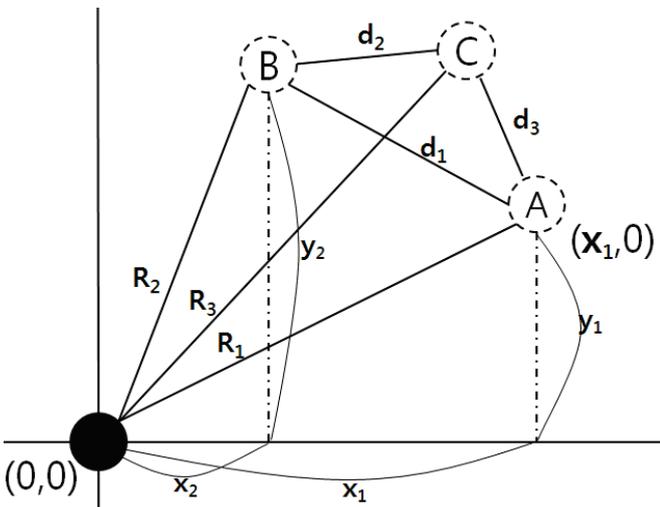
싱크 노드와 통신하는 하나의 노드에 대한 거리 R 은 싱크노드에서의 수신된 신호의 세기 또는 두 개의 신호 도착시간차 등을 이용하여 계산할 수 있다. 그러나, 그림 (2)에서 보는 바와 같이 센서 노드의 위치를 싱크 노드와 센서 노드사이의 거리만으로 계산할 때 그림 2 에서 보는 바와 같이, 노드는 싱크 노드에서 반지름 R 로 생성되는 원의 둘레 어느 곳 이든 들어갈 수 있게 된다. 따라서, 이러한 방법으로는 센서의 정확한 위치를 판별하기 어렵다. 하지만, 일반적인 센서 네트워크 환경에서 센서 노드의 개수는 다수인 경우가 대부분이다.[4] 따라서 본 논문에서는 하나의 센서 노드와 이웃하는 센서 노드와의 거리 정보와 센서 노드와 싱크 노드와의 거리 정보를 바탕으로 센서의 위치를 추정할 수 있다는 점에 주목한다. 본 논문에서는 그림 3d 서 보는 바와 같이, 전체 센싱 영역을 싱크 노드의 위치를 원점으로 하는 사분면으로 가정한다. 따라서 싱크 노드의 상대적인 좌표는 (0,0)이 된다.



(그림 2) 노드사이의 거리가 R 인 경우 노드의 위치

3-2.노드의 좌표계산

예를 들어, 그림 3 은 일반적인 센서 환경에서 노드의 배치가 이루어진 상태를 보여 주고 있다. A 노드와 B 노드, 그리고 C 노드는 싱크노드와의 통신으로 싱크 노드까지의 거리(R_1, R_2, R_3)을 알고 있으며, 서로 간의 통신으로 센서 노드 사이의 거리 d_1, d_2, d_3 를 알고 있다. 각 노드는 자신과 1-hop 통신이 가능한 노드들의 정보를 가지고 있고, 그 정보를 싱크 노드에게 보내 주면 싱크 노드는 그림 3 과 같이 싱크노드까지의 거리정보와 센서 노드들간의 거리정보를 기반으로 d_1, d_2, d_3 를 변으로 하는 삼각형을 생성할 수 있다.



(그림 3) 센서 노드의 위치 계산

또한, 싱크 노드는 삼각형을 이루는 변 중 하나를 임의로 선택해 y 좌표의 값을 0 으로 설정하고 그 결과로, 그림 3 에서 보는 바와 같이 싱크 노드와 A 노드는 기준선을 생성하며 이 기준선을 X 축으로 삼아 사분면에 위치한 노드들의 상대좌표를 계산할 수 있으며 삼각형의 위치에 따라 위치한 사분면을 계산할 수 있다. 이러한 방식으로 싱크는 센싱 영역 안에 있는

모든 노드들을 노드의 개수에 따라 n 개의 삼각형으로 그룹화 할 수 있으며 사분면에서 이러한 삼각형이 구성 될 수 있는 영역은 단 하나의 분면 밖에 없으므로 노드가 위치한 사분면을 추정할 수 있다.

$$\left[\begin{array}{l} R_1 = \sqrt{x_1^2} \\ R_2 = \sqrt{(x_1 - (x_1 - x_2))^2 + (y_2 - y_1)^2} \end{array} \right] \quad (3)$$

그러므로, 식(3)과 같이 싱크노드는 A 노드와 B 노드의 좌표를 계산할 수 있다. 여기서 C 노드는 A 노드와 B 노드가 위치하는 분면을 계산하기 위한 보조 노드가 되므로, 필요에 따라 보조 노드를 선정한다.

4. 결론 및 향후 연구계획

본 논문에서는 절대위치를 알고 있는 싱크 노드와 센서 노드간의 통신으로 싱크 노드와 센서 노드 사이의 거리를 계산할 수 있다는 점에 착안하여 센서 노드의 좌표를 알아내는 방법에 대해 설명하였다. 본 논문에서 설명하고 있는 방법은 기존의 range-free 방식의 위치 추정방식과 비교하여 자신의 절대위치를 알고 있어야 하는 앵커 노드가 필요치 않아 보다 효율적인 위치를 산정할 수 있으며, 수집된 정보로부터 싱크 노드에서의 위치 보정작업으로 보다 정밀한 위치 측정이 가능하다. 그러나, 신호의 왜곡 및 지연상실에 따라 발생하는 오차는 해결해야 할 문제이다. 향후, 시뮬레이션을 통하여 제안한 기법의 우수성을 증명하고, 장애물 또는 노드의 손실등으로 발생한 홀에 의한 위치 추정값 오류 보정기법에 대해 연구한다.

참고문헌

- [1] B. Hofmann - Wellenhof, H. Lichtenegger, and J. Collins, "Global Positioning System: Theory and Practice, Fourth Edition," Springer - Verlag, 1997.
- [2] G. P. Yost, S. Panchapakesan, "Improvement in Estimation of Time of Arrival (TOA) from timing advance (TA)," ICUPC 98, Vol 2, pp. 1367-1372, Florence, Italy, October 1998.
- [3] L. Zhu, J. Zhu, "A New Model and Its Performance for TDOA Estimation," VTS2001, Vol 4, pp. 2750-2753, Mariana Del Rey, Ca, USA, October. 2001.
- [4] D. Niculescu and B. Nath, "Ad Hoc Positioning System (APS) Using AOA," INFOCOM 2003. Twenty-Second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Vol.3, No.30, Mar.-Apr. 2003.
- [5] Chuan-Chin Pu , Wan-Young Chung , "An Integrated Approach for Position Estimation using RSSI in Wireless Sensor Network," Journal of Ubiquitous Convergence

Technology, Vol 2, No. 2, pp. 78-87, November 2008.

- [6] T. He, C. Huang, B. M. Blum, J. A. Stankovic, and T. Abdelzaher, "Range-Free Localization Schemes in Large Scale Sensor Networks," in Proceedings of the International Conference on Mobile Computing and Networking, Sep. 2003.
- [7] C.A. Balanis, "Antenna Theory : Analysis and Design," John Wiley & Son, pp. 94-96, 2005.
- [8] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, "RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System," IEEE INFOCOM 2000.
- [9] 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, October 2000.