

무선 센서 네트워크에서의 연결성과 수신신호세기를 이용한 노드 위치 추정 기법

임철우*, 유춘근*, 강병욱**
 *영남대학교 대학원 컴퓨터공학과
 **영남대학교 전자정보공학부
 e-mail:brain95@ynu.ac.kr

A Node Estimation Method Using Connectivity and Strength of Received Signal in Wireless Sensor Network

Chul Woo Rhim*, Chun Gun Yu*, Byung Wook Kang**

*Graduate School Dept. of Computer Engineering, Yeungnam University

**School of Electronic Engineering, Communication Engineering & Computer Science, Yeungnam University

요 약

무선 센서 네트워크에 대한 연구에서 노드의 위치는 매우 중요하다. 본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 노드 간의 연결성 정보와 신호 세기를 이용한 거리를 이용해서 해당 노드의 위치를 추정하는 기법을 제안한다. 이 기법을 사용하면 앵커 노드를 기준으로 미지 노드들의 상대적인 위치를 찾아서 전체적인 맵을 구성할 수도 있고 노드가 이동하는 경우에도 쉽게 노드의 위치를 찾을 수 있다. 시뮬레이션으로 이 방법의 정확성과 효율성을 검증하였다.

1. 서론

M. Weiser에 의해서 유비쿼터스 컴퓨팅(Ubiquitous Computing)이라는 개념이 도입되면서 모든 사물과 공간에서 컴퓨팅을 할 수 있는 기술을 제공하기 위해서 많은 연구가 이루어지고 있다. 무선 센서 네트워크는 이러한 유비쿼터스 컴퓨팅을 구현하기 위한 연구 분야 중 하나이다. 각 공간에 배치된 센서 노드에서 무선 네트워크를 이용해서 주변 환경에 대한 각종 정보를 취득한다. 센서 노드에 대한 위치를 결정하는 것은 센서 네트워크 컴퓨팅에서 주변 환경에 대한 인식을 가능하게 하는 가장 기본적인 요소이다.[1]

본 논문에서는 센서 네트워크에서 신호 세기만을 이용해서 노드의 위치를 추정하는 기법의 단점을 보완하기 위해서 신호세기와 노드 간의 인접성 정보를 이용해서 센서 노드의 위치를 추정하는 기법에 대해서 제안한다. 본 논문에서는 제안 알고리즘의 구현 과정 및 시뮬레이션에 초점을 두고 기술한다.

2. 관련 연구

노드에 대한 위치 추정 기법은 거리에 독립적인 방법과 거리에 기반을 둔 방법으로 구분할 수 있다. 거리에 독립된 방법은 무선 노드 간의 거리를 계산하지 않고 위치를 추정하는 방법이며, 거리에 기반을 둔 방법은 무선 노드 간의 거리를 계산하여 노드의 위치를 추정하는 방법이다.

거리에 기반을 둔 방법은 무선 노드간의 거리를 측정

하여 위치를 계산한다. 노드 간의 거리를 측정하기 위해서 노드가 수신하는 신호의 도착 시간, 수신 신호의 세기, 수신 신호의 각도등을 계산에 사용한다. 대표적인 기법은 ToA(Time of Arrival)[2], TDoA(Time Difference of Arrival)[3], AoA(Angle of Arrival)[4], RSSI(Received Signal Strength Indicator)[5], 삼각 측량법[6]등이 있다.

거리에 독립적인 방법은 무선 노드 간의 거리를 직접적으로 추정하지 않고 위치를 추정하는 방법이다. 대표적인 방법은 APIT(Approximate Point In Triangle Test)[7], DV-Hop[8], Centroid[9]가 있다.

3. 제안 기법

본 논문에서 앵커 노드 이외의 미지 노드를 추정하기 위해서 두 노드간의 연결성 정보와 신호 세기를 이용하여 노드간의 거리를 계산한다. 신호 세기에 의해 거리를 구하기 위해서는 Friis Free Space 공식을 거리에 대해서 정리하여 사용한다.[10]

$$R = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{\frac{G_t G_r P_t}{P_r}} \quad (1)$$

여기서 G_t 는 송신 안테나의 이득, G_r 는 수신 안테나의 이득, P_t 은 송신된 전력, P_r 는 수신된 전력 그리고 λ 는 전파의 파장, R 은 구하고자 하는 거리이다.

앵커 노드에서 미지 노드의 위치를 추정하기 위해서 먼저 앵커 노드에서 기준 축을 설정해야 한다. GPS와 같이 절대적인 좌표를 사용하는 것이 아니기 때문에 상대적인 좌표계에서 앵커 노드의 역할은 기준점 즉, 원점이 된

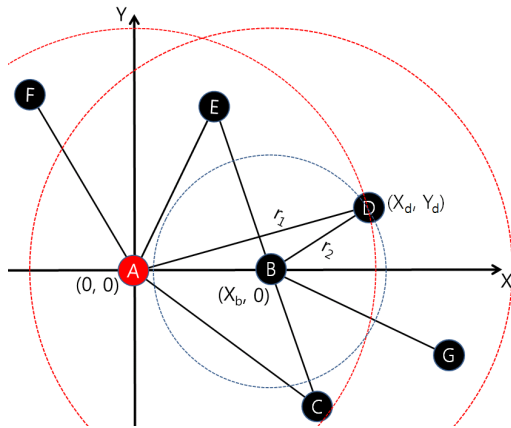
다. 원점으로부터 기준이 되는 축을 설정하는 과정은 그림 1과 같이 기술한다.

입력 값 : 신호 세기
출력 값 : 설정된 기준 축

- 1 : 원점 노드와 각 노드간의 통신을 확인한다.
- 2 : 수신 신호 세기로부터 원점 노드와 각 미지 노드 간의 거리를 계산한다.
- 3 : 원점 노드에서의 정보 행렬을 만든다. (이 행렬은 통신 가능 노드 정보와 거리로 구성된다.)
- 4 : 원점 노드와 통신 가능 노드 중에서 최소의 거리를 가지고 있는 노드를 찾는다.
- 5 : 최소 거리를 가지고 있는 노드를 사용해서 기준 축을 설정한다.
(기준 축 설정 좌표 : 원점, (최소 거리, 0))
- 6 : 최소 거리를 가지는 축 멤버를 선택한다.

(그림 1) 기준 축 설정 제안 알고리즘

그림 2는 설정된 기준 축에서 미지 노드를 구하는 과정을 보이고 있다. 노드의 위치를 계산할 때 설정한 축의 두 노드의 통신 범위 내에서 공통적으로 통신이 가능한 노드에 대해서 위치를 찾고 있음을 볼 수 있다. 따라서 미지 노드의 위치를 계산하기 위해서 설정된 축의 두 노드가 공통적으로 통신을 하고 있는 노드의 수와 공통적으로 통신을 하고 있는 노드를 찾아야 한다. 그림 2에서 두 노드가 공통적으로 통신하고 있는 노드는 D이다.



(그림 2) 미지노드 D를 찾기 위한 노드 정보

미지 노드 D를 찾기 위해서 식(2)와 같은 원의 방정식을 이용한다.

$$\begin{cases} x^2 + y^2 = r_1^2 \\ (x - X_b)^2 + y^2 = r_2^2 \end{cases} \quad (2)$$

여기서 $(X_b, 0)$ 은 노드 A에서 기준축을 설정하기 위해서 선택된 노드 B의 위치이고, r_1 은 앵커노드 A에서부터 미지 노드 D까지의 거리, r_2 는 노드 B로부터 미지 노드 D까지의 거리이다. 식 (2)로부터 노드 D의 위치는 식(3)로 나타낼 수 있다.

$$(X_d, Y_d) = \left(\frac{r_1^2 - r_2^2 + X_b^2}{2X_b}, \pm \sqrt{r_1^2 - X_d^2} \right) \quad (3)$$

미지 노드의 위치를 결정하기 위해서 그림 3과 같이 기술한 방법을 이용한다. 그림 2에서 식(3)에 의해 계산된 미지 노드인 D의 좌표 x값은 하나이나, 계산된 y값은 2개가 됨을 볼 수 있다. y좌표의 위치에 따라서 노드의 위치

가 달라져서 분포되는 노드의 전체적인 위치가 달라진다. 그렇기 때문에 미지 노드 D의 위치를 찾기 위해서 노드 D에서 통신 가능 노드에 대한 연결성 정보와 신호 세기를 이용한다. 다음의 그림 3은 이러한 과정을 기술하고 있다.

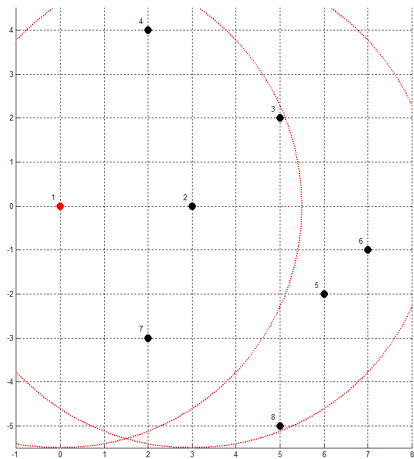
입력 : 원점 노드의 정보 행렬
출력 : 추정된 미지 노드의 위치

- 1 : 최소 거리 노드와 각 노드간의 통신을 확인한다.
- 2 : 수신 신호 세기로부터 최소 거리 노드와 각 미지 노드 간의 거리를 계산한다.
- 3 : 최소 거리 노드에서의 정보 행렬을 만든다. (이 행렬은 통신 가능 노드 정보와 거리로 구성된다.)
- 4 : 두 행렬에서 공통적으로 통신하는 노드의 수를 찾는다.
- 5 : 두 행렬에서 첫 번째로 공통적으로 통신하는 노드를 찾는다.
- 6 : 공통적으로 통신하는 노드의 수만큼 루프를 수행한다.
- 7 : 거리1 = 원점 노드에서 공통 노드까지의 거리
- 8 : 거리2 = 최소 거리 노드에서 공통 노드까지의 거리
- 9 : 식(3)을 이용해서 미지 노드에 대한 좌표를 계산한다.
- 10 : 계산된 좌표 중 양의 값을 가지고 있는 노드와 음의 값을 가지고 있는 노드 정보가 원래의 노드 정보와 일치할 경우에는 각 위치에서의 거리 정보를 비교한다.
- 11 : 계산된 좌표 중 양의 값을 가지고 있는 노드와 음의 값을 가지고 있는 노드 정보가 원래의 노드 정보와 일치하지 않은 경우에는 노드의 정보만 비교를 한다.
- 12 : 추정된 미지 노드의 위치를 반환한다.

(그림 3) 미지 노드 선택 제안 알고리즘

4. 제안 기법의 검증

본 장에서는 제안한 기법을 사용하여 제안 기법의 정확성을 검증하고자 한다. 이를 검증하기 위해서 다음의 그림 4와 같이 노드를 배치한다. 여기서 1번 노드는 위치를 알고 있는 앵커 노드로 한다. 2번부터 8번 노드는 위치를 모르고 있는 노드이다. 시뮬레이션에서 각 노드의 송신 안테나의 이득, 수신 안테나의 이득, 수신된 전력 및 송신된 전력은 각 노드마다 일정하고, 모든 노드들은 평면상에 배치되어 있음을 전제로 한다.



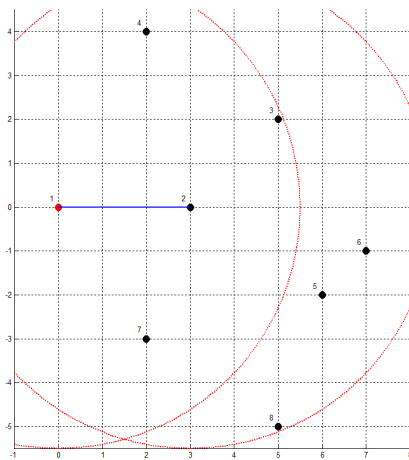
(그림 4) 검증을 위한 노드 배치

다음의 표 1은 앵커 노드와 기준 축 멤버로 설정된 2번 노드에서 식 (1)을 이용해서 구해진 각 노드와의 거리를 나타내고 있다. 두 노드와 통신 가능 영역 내에 있는 노드 들은 거리가 계산되어 있고, 통신이 되지 않는 노드 들은 거리를 -1로 설정하였다.

<표 1> 계산된 노드 간의 거리

노드	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	3.00	5.38	4.47	-1	-1	3.61	-1
2	3.00	0	2.82	4.12	3.60	4.12	3.16	5.37
3	5.38	2.82	0	3.60	4.11	3.59	-1	-1
4	4.47	4.12	3.60	0	-1	-1	-1	-1
5	-1	3.60	4.11	-1	0	1.41	4.12	3.15
6	-1	4.12	3.59	-1	1.41	0	5.38	4.45
7	3.61	3.16	-1	-1	4.12	5.38	0	3.60
8	-1	5.37	-1	-1	3.15	4.45	3.60	0

그림 5는 각 노드의 통신 반경과 노드의 위치를 찾기 위해서 설정된 기준축 및 사용된 축을 표시하였다. 표 1을 참고하면 원점이 되는 노드와 최소의 거리를 가지는 노드들이 축 멤버로 설정되고 있음을 확인할 수 있다.



(그림 5) 설정된 기준 축

표 2는 제안 기법을 이용해서 그림 6에서 보이는 것같이 설정된 각 축별로 추정된 노드의 위치와 검증을 위해 배치했던 각 노드의 좌표와의 표준편차를 보이고 있다.

<표 2> 제안 기법을 이용해서 추정된 노드의 위치

노드	x 좌표	y 좌표	좌표의 표준편차	
1	0.00	0.00	0	0
2	3.00	0.00	0	0
3	5.00	1.99	0	0.007071
4	2.00	4.00	0	0
7	2.00	-3.00	0	0

제안한 기법의 시뮬레이션은 신호의 세기에 대해서 10회의 시뮬레이션을 반복한 결과로 나타난 좌표의 값이다. 앵커 노드인 1번과 기준 축 멤버로 설정된 2번 노드를 이용해서 구할 수 있는 노드의 위치는 3, 4, 7번 노드이다. 표 2에서 추정된 좌표에 대한 표준편차에서 보면 값이 0인 좌표들은 시뮬레이션을 위해서 배치한 노드의 좌표와 제안 기법을 이용하여 추정된 노드의 위치가 일치하고 있다는 것이며, 다소 편차가 있는 3번 노드에 대해서는 소수점 둘째자리 이하의 값을 가지고 있어서 원래 시뮬레이션을 위해 설정된 위치와 거의 같은 위치임을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 이미 위치를 알고 있는 앵커 노드를 기준으로 위치를 알지 못하는 미지 노드들의 위치에 대해서 노드의 연결성과 노드에서 수신하는 신호의 세기를 이용해서 계산된 거리를 사용하여 미지 노드의 위치를 추정하는 방법을 제안하였다. 제안 방법의 검증을 위해 임의로 배치한 노드와 제안한 방법을 사용해서 추정된 노드의 위치에 대한 표준편차를 계산한 결과를 보면 일부 노드는 정확한 위치를 찾고 있음을 확인하고, 일부 노드는 약간의 편차가 있음을 알 수 있다. 편차가 크지 않기 때문에 설정한 위치에 거의 근접한 위치를 찾아내고 있었다. 이러한 편차는 수신 신호 세기에 의해 거리를 계산해 낼 때 발생했다고 볼 수 있다.

제안한 기법은 GPS 장비를 이용하지 않고도 노드의 연결성 정보와 신호 세기만을 이용해서 무선 센서 네트워크의 전체적인 맵을 만들 수 있다. 그리고 위치가 변화하는 경우에도 쉽게 노드의 위치를 추정해낼 수 있다.

참고문헌

- [1] S. Meguerdichian et al. "Coverage Problems in Wireless Ad-hoc Sensor Networks," INFOCOM 2001, Vol 3, 2001, pp. 1380-1387.
- [2] G. P. Yost, S. Panchapakesan "Improvement in Estimation of Time of Arrival (TOA) from timing advance (TA)," ICUPC 98, Vol 2, 1998, pp. 1367-1372.
- [3] L. Zhu, J. Zhu "A New Model and Its Performance for TDOA Estimation," VTS2001, Vol 4, 2001, pp. 2750-2753.
- [4] D. Niculescu, B. Nath "Ad hoc Positioning System (APS) using AOA," INFOCOM 2003, 2003, pp. 1734-1743.
- [5] C. C. Pu, W. Y. Chung "An Integrated Approach for Position Estimation using RSSI in Wireless Sensor Network," JUCT, Vol 2, No. 2, 2008, pp. 78-87.
- [6] 정동규 외 3인 "RTLS를 위한 위치 보정 기법의 설계 및 구현," 한국GIS학회 2008 공동춘계학술대회, 2008, pp. 286-292.
- [7] N. Bulusu et al. "GPS-less Low-cost Outdoor Localization for Very Small Devices," *IEEE Personal Communications* Vol 7, Issue 5, 2000, pp. 28-34.
- [8] T. He, C. Huang et al. "Range-Free Localization Schemes for Large Scale Sensor Networks," MOBICOM 2003, 2003, pp. 81-95.
- [9] D. Niculescu, B. Nath, "Ad Hoc Positioning System (APS)," GLOBECOM 2001, 2001, pp. 2926-2931.
- [10] C. A. Balanis, "Antenna Theory : Analysis and Design," John Wiley & Son, 2005, pp. 94-96.