

# 무선 센서 네트워크에서 상호 협력 기반 위치추정 알고리즘 연구

정승희\* · 이현재\* · 오창현\*

\*한국기술교육대학교

## A Study on Cooperative Based Location Estimation Algorithm in Wireless Sensor Networks

Seung-heui Jeong\*, Hyun-jae Lee\* and Chang-heon Oh\*

\*Korea University of Technology and Education

E-mail : shjeong@gmail.com

### 요 약

본 논문에서는 센서 노드의 위치를 추정하기 위해 서로 다른 센서노드의 신호세기를 기록한 RSS table을 활용하여 노드가 존재하는 영역을 추정하고, 해당 영역에 속하지 않는 공간을 순차적으로 제거하는 cooperative localization 알고리즘을 제안한다. 각각의 센서노드는 신호세기를 모니터링 하고, 신호세기의 범위에 따라 센서노드의 존재 가능 영역을 배제하게 되며 최종적으로 존재 가능 영역의 중심(centroid)을 노드의 위치로 추정하게 된다. 이러한 과정은 RSS table에 기록된 모든 노드들에 대해 반복적으로 적용되고 이를 통해 미지의 노드들에 대한 정밀한 위치추정이 가능하다.

### ABSTRACT

In this paper, we proposed cooperative based localization algorithm for wireless sensor networks, which can estimate to unknown node position using received signal strength table set. The unknown nodes are monitor to RSS from neighbor nodes and exclude existence possibility area of sensor node in sensor field. Finally, we can calculate the centroid position for each unknown node with cooperative localization algorithm. Furthermore, these processes are applied iteratively about all nodes which is recorded to RSS table and can estimate for unknown nodes.

### 키워드

Cooperative localization, RSS table, Centroid, Location estimation

### 1. 서 론

현재 국내·외에서 무선 센서 네트워크의 다양한 활용과 서비스에 대한 연구가 진행되고 있다. 그 중에서도 위치 기반 서비스는 가장 근본적이면서도 중요한 서비스가 될 것으로 예상된다. 이러한 위치 기반 서비스가 원활히 제공되기 위해서는 센서 노드의 위치를 추정·추적하여 관련 정보를 획득하는 wireless localization 기술이 요구된다[1]. 실제로 wireless localization 기술을 통해 WSN(Wireless Sensor Networks)에서 센서노드의 위치를 알 수 있다면 사용자의 위치 정보를 이용한 복합적 서비스가 가능할 뿐만 아니라 노

드에 탑재된 센서들의 정보를 보다 다양하게 이용할 수 있다[2]. 그러나 센싱된 정보로부터 위치 정보가 결여된 일반적인 센서 감지 정보만 제공된다면 대부분의 응용 서비스 활용에 제한적으로 이용될 수밖에 없으므로 WSN에서 wireless localization 기술은 필수적이라 할 수 있다.

따라서 위치정보의 부재 또는 부정확한 위치정보에 의한 신뢰성의 감소는 다양한 응용서비스 개발의 장애로 인식되어 왔으며, 이를 극복하고자 wireless localization의 정확성에 관한 연구가 국내·외에서 활발히 진행되고 있는 실정이다[3],[4].

본 논문에서는 I장 서론에 이어 II장에서 무선 센서네트워크에서 활용 가능한 wireless localization 알고리즘을 소개하고, III장에서는 이

웃 노드로부터의 수신 세기를 활용한 상호 협력 기반의 위치 추정 알고리즘을 제안한다. 마지막으로 IV장에서 결론을 맺는다.

## II. WSN에서 활용 가능한 wireless localization 알고리즘

현재까지 알려진 wireless localization 기술은 두 지점 간 거리 측정 여부에 따라 range-based 기법들과 range-free 기법들로 분류할 수 있다. 존재하는 센서노드의 수가 적은 환경에서의 위치 추정 기법은 앵커 노드들의 절대위치를 기반으로 하는 range-based 방식이 주를 이루며, 최근에는 앵커 노드에 의존적이지 않으며 조밀하게 존재하는 센서 노드들 간의 정보 교환을 통해 위치 추정이 가능한 range-free 방식이 연구되고 있다[5].

### 1. Range-based 방식

측정 거리 기반의 range-based 기법은 노드들 사이에 센서 및 RF 신호를 이용하여 실제 거리를 예측하고 이를 이용하여 위치를 예측하는 기법으로 TOA (Time Of Arrival), TDOA (Time Of Difference Arrival), AOA(Angle Of Arrival), RSSI (Received Signal Strength Indicator) 등이 있다. AOA, TOA 및 TDOA 방식은 송신기와 수신기 사이에 가시경로 (LOS : Line-Of-Sight)를 필요로 하는 삼각측량 (triangulation) 기술에 근거하여 위치를 추정한다.

그러나 실제 무선 전파환경에서 항상 송신기와 수신기 사이에 가시경로가 확보되기는 어려우며, 도착신호의 각도와 시간은 다중경로 전파의 영향으로 인해 실제와 다른 각도 및 시간지연을 받게 되어 신뢰성 있는 위치추정이 어렵다. 특히, 개활지와 같은 가시거리 환경이 아닌 주변에 장애물이 존재하는 비가시거리(NLOS) 환경에서는 위치 추정이 불가능하거나 성능이 급격히 저하되는 단점을 공통적으로 가지고 있다.

전파의 수신 세기를 기반으로 하는 RSSI 방식은 전파환경에 적합한 경로손실을 고려할 수 있다면 NLOS 또는 다중경로 전파환경에서도 신뢰성 있게 목표물의 위치를 추정할 수 있다. 위치추정의 정밀도에 있어서는 이전의 세 가지 방식에 비하여 성능이 다소 떨어지는 단점이 있으나 세 가지 방식들에 비하여 NLOS 환경에 비교적 적합한 위치추정 기술로 알려져 있다[6].

### 2. Range-free 방식

Range - free 기법은 노드들 간의 상대적인 거리 차이나 기타 노드의 움직임 등을 이용하여 위치를 예측하는 기법이다. 대표적으로 Centroid[7], APIT[8], DV-Hop/DV-Distance[9] 등이 있다.

Centroid는 앵커 노드들의 신호가 동일한 전송 범위를 갖는다고 가정하여, 앵커 노드들을 규칙적

으로 배치함으로써 신호 전송의 영역이 중첩되도록 한다. 각 센서노드들은 수신된 모든 앵커 노드들이 커버하는 중첩영역을 자신의 위치로 인식하게 되지만 센서 노드의 위치가 항상 수신된 앵커 노드들의 정 중앙으로 인식되기 때문에 정밀한 위치를 추정할 수 없다.

APIT(Approximate Point In Triangle)은 앵커 노드들이 주기적으로 신호를 송신하고 각 센서 노드들은 수신된 앵커 노드들의 위치정보를 이용하여 다수의 삼각형을 형성한다. 이때, 센서 노드는 수신된 앵커 노드들의 신호세기를 이용하여 자신이 그 삼각형의 내부에 존재하는지 여부를 계산하는 APIT 테스트를 하여 자신의 위치를 인식하게 된다. APIT은 위치 계산시 자체적으로 개발한 기법을 사용하기 때문에 위치인식의 정밀도는 떨어지며 많은 수의 앵커 노드를 필요로 하는 단점을 갖는다.

DV-Hop/DV-Distance는 앵커 노드들이 주기적으로 위치정보를 전송하고 또한, 다른 앵커 노드들로부터 수신한 위치정보를 이용하여, 센서 간 홉(hop)의 평균거리(distance vector)를 계산하여 주변노드로 전송한다. 이를 수신한 센서노드는 앵커 노드들과의 홉 수로 앵커 노드들과의 거리를 계산하여, 위치를 인식하고 센서노드와의 홉 수를 증가시켜 이웃노드에게 전달함으로써 모든 센서 노드들은 위치인식을 하게 된다. DV-Distance는 앵커 노드와의 홉 수를 전달하는 대신 홉 간의 신호세기를 기반으로 거리를 측정하여 전파하는 방식을 제외하고는 DV-Hop 방식과 동일하다. DV-Hop/DV-Distance의 위치인식 방식은 평균적인 홉 간 거리 계산시 채널환경을 고려하지 않고 신호세기를 이용하여 측정하기 때문에 정밀한 위치인식을 보장하지 못한다는 단점이 있다[6].

이상의 range-free 기법들은 시간이나 각도 정보를 활용해서 위치추정을 하는 range-based 방식에 비해 시스템 구성이 간단한 장점이 있는 반면에 노드들 간의 홉 수에 의존하므로 홉 간 오차거리가 누적되는 등의 이유로 정밀한 위치추정이 어려우며, 센서 노드의 수가 균일한 간격으로 조밀하게 존재할 경우에만 위치추정의 정밀도가 보장된다는 단점이 있다.

## III. Cooperative localization 알고리즘

본 논문에서는 이웃하는 노드들 간의 수신세기를 이용하여 위치를 추정할 수 있는 상호협력 기반의 위치추정 알고리즘을 제안한다.

### 1. 센서 노드 정의

본 논문에서 가정하는 WSN 환경에 적합한 노드는 2.4GHz 대역에서 IEEE 802.15.4 표준의 ZigBee 모듈로서 모든 노드는 그림 1과 같이 송수신이 가능하며, 자체 라우팅 알고리즘에 의해 master 노드로 RSS table을 전송할 수 있다.

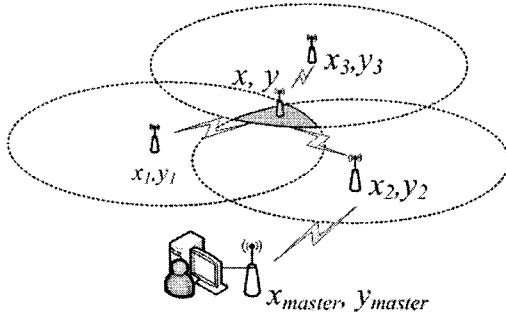


그림 1. RSSI 방식의 위치추정 예

2. RSS를 이용한 거리 추정

노드에 수신된 신호의 세기  $P(d)$ 는

$$P(d)[dBm] = P_0 - 10\alpha \log(d) \quad (1)$$

와 같다.  $P(d)$ 는 각 노드에서 측정된 수신신호의 세기이며,  $P_0$ 는 단위 거리당 이론적인 수신신호의 세기를 의미한다.  $\alpha$ 는 무선 송수신 환경에 따른 거리 감쇠 지수이고, 송수신 노드 사이의 실제거리  $d$ 를 산출하기 위해 식 (1)을 다음과 같이 가정할 수 있다.

$$d = 10^{\frac{P_0 - P(d)}{10\alpha}} \quad (2)$$

따라서 노드  $i, j$  사이의 실제 거리를  $d_{i,j}$ 라 하면, 식 (2)는 식 (3)과 같이 변형할 수 있다[10].

$$d_{i,j} = 10^{\frac{P_0 - P_{i,j}}{10\alpha}} \quad (3)$$

3. RSS table

센서필드에 존재하는 노드는 임의의 위치에서 자신의 노드의 ID를 주기적으로 이웃으로 broadcasting 하게 된다. 자신의 ID를 주기적으로 이웃으로 송신하게 되면, 이를 수신한 이웃 노드들은 해당 ID의 노드로부터 어느 정도의 신호 세기로 신호가 수신되었는지 RSS table에 기록하며, 이를 주기적으로 갱신한다.

기록된 RSS table은 라우팅 경로에 의해 master 노드로 해당 RSS table을 송신하게 된다. 이웃 노드들의 RSS table을 수신한 master 노드는 모든 이웃 노드들로부터 취합된 RSS table들을 location server로 전송하고 location server에서는 취합된 RSS table set을 이용해 이웃한 노드들 간의 상대적 위치를 추정하게 된다.

각 노드들 간의 상대적 위치가 결정이 되면, 최종적으로 이미 좌표를 알고 있는 master 노드

를 기준으로 절대적 위치를 계산할 수 있으며, 주기적으로 노드의 RSS table 갱신을 통해 이동 중인 노드의 위치 및 신규로 참여하게 되는 노드의 위치 또한 추정이 가능하다.

표 1. Location server의 RSS table set

Node ID	Received ID	RSS [dBm]
# 1	2	-41
	3	-56
	4	-80
	...	...
# 2	1	-41
	5	-77
	14	-38
	...	...
# 3	p	...
	1	-56
	7	-45
	23	-52
# 4	...	...
	q	...
	1	-80
	6	-78
...	...	...
...	r	...
...	...	...
# n	...	...

취합된 RSS table은 각 노드로부터 이웃노드의 ID와 RSS 값을 분류하게 된다.

표 1과 같이 만일, ID 1번의 노드에 수신된 RSS table 목록에 총 3개의 이웃 노드의 RSS 값이 기록 되었다고 가정하면, 해당 기록된 ID의 RSS table 목록을 동시에 참조하게 된다. 그러므로 1번 노드에 기록된 ID 3개의 노드 또한 동시에 참조하게 된다.

4. 상호 협력 기반 위치추정

RSS table set이 완성되면, 각 노드에 수신된 RSS 값을 비교하여, 미지의 노드로부터 이웃 노드들의 상대적 거리  $d'_{i,j}$ 을 생성하고, 삼변 측량법을 이용하여 미지의 노드가 위치하는 영역  $\Psi$ 을 산출한다.

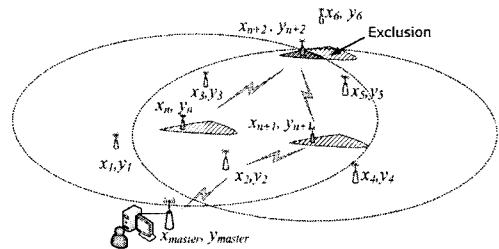


그림 2. 상호 협력 기반의 위치추정 예

그림 2와 같이 RSS table을 이용하여 미지의 노드가 존재 가능할 것으로 예상되는 영역을 먼저 결정하고 각 영역에서 특정 노드로부터 수신된 RSS를 이용해 존재하지 않을 것으로 예상되는 영역은 배제하게 된다. 이러한 과정은 모든 RSS table에 존재하는 n 개의 노드에 대해 반복적으로 진행된다[10]. 이 때 영역 배제 과정에서 서로 중

침되지 않거나 완전히 포함된 경우에 대해서는 고려하지 않는다.

5. 최종 위치 결정

반복적인 영역 배제를 통해 축소된 후보 영역의 중심(centroid)을 미지의 노드의 위치로 추정할 수 있다. 미지의 노드가 존재할 것으로 예상되는 영역에 대한 중심위치 결정은 평면의 한 영역  $\Psi$ 을 여러 개의 변곡점이 있는 함수 영역으로 근사화함으로써 넓이  $A$ 를 구할 수 있으며, 이를 통해 영역  $\Psi$ 의 중심을 결정할 수 있다.

$$A = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^{m,n} \sum_{j=1}^n [(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2 - R_i] - [(x-x_j)^2 + (y-y_j)^2 - R_j] \quad (4)$$

$R_i, R_j$ 는 노드  $i$ 와 노드  $j$ 의 수신 반경을 의미한다. 따라서 노드  $i$ 와 노드  $j$ 의 영역 교차점이  $a, b$  인 경우 영역  $\Psi$ 의 넓이는 식 (5)와 같다.

$$A = \int_a^b [f(x) - g(x)] dx \quad (5)$$

그러므로 미지의 노드가 위치할 것으로 예상되는  $\bar{x}, \bar{y}$  는 영역  $\Psi$ 에 대한 중심으로 가정할 수 있으며, 추정 위치 좌표는 식 (6)과 같다.

$$\bar{x} = \frac{1}{A} \int_a^b xf(x)dx, \quad \bar{y} = \frac{1}{A} \int_a^b f(x)^2 dx \quad (6)$$

이와 같은 과정을 통해 미지의 노드가 존재할 것으로 예상되는 후보 영역 중 중심 지점을 미지의 노드가 존재하는 위치로 추정할 수 있으며, 일정 시간마다 갱신되어 수신된 RSS table set를 누적, 통계 처리함으로써, 위치추정의 정밀도를 향상시킬 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 무선 센서 네트워크 환경에서 위치 기반 서비스가 원활히 제공되기 위해 각 노드에 수신된 노드 ID와 RSS를 이용하고 존재 가능한 영역을 줄임으로써 영역의 중심을 미지의 노드 위치로 추정하는 cooperative localization 알고리즘을 제안하였다. 각각의 센서노드는 신호세기를 모니터링 하고, 신호세기의 범위에 따라 센서노드의 존재 가능 영역을 제거하게 되며 최종적으로 존재 가능 영역의 중심(centroid)을 노드의 위치로 추정하게 된다. 이러한 과정은 RSS table에 기록된 모든 노드들에 대해 반복적으로 적용되며 최종적으로 미지의 노드들에 대한 위치추정

이 가능하다. 추후 계속적인 연구를 통해 본 논문에서 제안한 알고리즘의 검증 과정이 요구되며, 이를 통해 수많은 노드가 존재하는 무선 센서 네트워크 환경에서 센서 노드의 보다 정밀한 위치 추정이 가능할 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] 장병준, 안선일, 이윤덕, "RFID/USN 기술개발 동향," *정보과학회지*, vol. 23, no. 2, pp. 83-87, 2005. 2.
- [2] Neal Patwari, Joshua N. Ash Spyors Kyperountas, Alfred O. hero III, randolph L. Moses, and Neiyer S. Correl, "Locating the nodes: Cooperative localization in wireless sensor networks," *IEEE Signal Processing Magazine*, pp. 54-69, July 2005.
- [3] 김상태, "RFID 기술개요 및 국내의 동향 분석," *USN 핵심기술 RFID*, 2003. 8.
- [4] 표철식, 채종석, 김창주, "RFID 시스템 기술," *한국전자과학회 전자파기술*, vol. 15, no. 2, pp. 26-32, 2004. 4.
- [5] T. He, C. Huang, B. Blum, J. Stankovic and T. Abdelzaher, "Range-Free. Localization Schemes for Large Scale Sensor Networks," *MOBICOM*, 2003.
- [6] Nosratinia, A., Hunter, T.E. and Hedayat, A. "Cooperative communication in wireless networks," *IEEE Communications Magazine*, vol 42, Iss. 10, pp. 74-80, Oct. 2004.
- [7] N. Bulusu and J. Heidemann, "GPS-less Low Cost Outdoor Localization for very small decvces," *IEEE Personal Communications Magazine*, October 2000.
- [8] Tian He, ChengduHuang, B. M Blum and John A. Stankovic "Range-Free Localization Schemes in Large Scale Sensor Networks," *Mobicom*, 2003.
- [9] D. Niculescu and B. Nath "DV Based Positioning in Ad hoc Networks," *Journal of Telecommunication System*, vol. 22, no. 1-4, pp. 267-280, Jan. 2003.
- [10] Wenping Chen, Xiaofeng Meng "A Cooperative Localization Scheme for Zigbee-based Wireless Sensor Networks," *ICON '06. 14th IEEE International Conference*, vol. 2, pp. 1-5, Sept. 2006.