

# 확장성과 비용을 고려한 무선 센서 네트워크에서의 위치 추정 기법

## Scalable and Low Cost Localization Method for Wireless Sensor Networks

최재영\*, 권옥현\*

(Jae Young Choi and Wook Hyun Kwon)

\* 서울대학교 전기컴퓨터공학부(전화:(02)873-2279, 팩스:(02)878-8933, E-mail : jychoi@cisl.snu.ac.kr)

**Abstract :** Location information of individual nodes is useful for routing and some other functions in wireless sensor networks. Each node can use GPS to know its position. However, the GPS service can not be practical to use due to cost efficiency, power, and computing capability. This paper proposes the localization method to make nodes know their location in case of a few nodes knows their position information. The proposed method is named as VALT (Virtual Anchor based Localization using Triangulation method). It uses the virtual anchor concept and calculates the location of individual nodes by means of the triangulation method. This method helps all nodes to determine their position with low cost and high scalability.

**Keywords :** localization, wireless sensor network, VALT, triangularization

### 1. 서 론

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Networks: WSNs)는 많은 수의 센서 노드들을 하나의 네트워크로 묶는 기술이다. 디지털 기술과 MEMS 기술, 무선 통신 기술의 발전으로 말미암아 하나의 모듈로서만 동작하던 센서 모듈에 통신 기능을 덧붙여 매우 작은 크기의 다수의 센서 노드가 물리 현상을 측정하여 사용자에게 전달할 수 있도록 하는 네트워크가 무선 센서 네트워크이다[1,2]. 무선 센서 네트워크는 향후 군사, 환경, 가정, 건강, 빌딩제어 등 여러 환경에서 사용될 것으로 예상되는 기술이다[2]. 이러한 무선 센서 네트워크에서의 라우팅, 매체 접근 제어(MAC), 데이터 수집 및 전달 등에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

이러한 연구들을 살펴보면, 각 노드가 자신의 위치를 알고 있다고 가정하고 있는 경우가 많다. 이는 위치정보를 안다는 것이 네트워크의 부담을 크게 줄여줄 수 있기 때문이다. 각 노드의 위치를 알게 되면 효율적으로 데이터를 전달할 수 있게 된다. 각 노드가 자신의 위치를 알기 위해서는 개개의 노드가 GPS(Global Positioning Service)와 같은 서비스를 이용하는 것이 가장 정확하지만, GPS 기기는 큰 하드웨어가 사용되고 에너지 소모도 높으며 비용이 많이 든다는 단점이 있다[3,4,5]. WSN에서는 각각의 센서 노드가 소형이며 에너지 제한도 크기 때문에 이러한 방법은 적합하지 못하다. 그렇기 때문에 GPS를 사용하지 않는 위치 추정 기법들이 제시되고 있는 상황이다. [3]에서는 자신의 위치를 아는 소수의 노드와 자신의 위치를 모르는 다수의 노드가 있을 때, 각 노드가 신호가 수신된 방향을 알 수 있는 능력이 있을 경우 그 각도에

대한 정보를 주위 노드들과 교환하여 위치를 추정하는 기법을 소개하였다. 그러나 이방법의 경우 각도에 대한 오차가 어려움을 크게 하며, 각도정보를 알 수 있게 하기위한 하드웨어의 부담이 문제점이다. [4]에서는 일부 노드가 위치정보를 알고 있고 자신의 위치를 모르는 다수의 노드가 있을 경우에 위치를 추정하는 방법을 제안하였다. 이 방법에서는 모든 노드는 주위 노드와의 정보교환을 통해 상대적인 신호 세기를 측정하여 위치 정보를 아는 지표 노드(anchor node)들이 이루는 삼각형 안에 있는지 밖에 있는지를 판단해서 겹쳐지는 삼각형의 무게 중심점이 자신의 위치라고 추정한다. 이 방법은 통신 오버헤드가 매우 크며, 모든 노드가 지표 노드(anchor node)의 통신 범위 안에 있어야하기 때문에 확장성(scalability)이 떨어진다. [5]에서는 위치 정보를 아는 노드가 존재하지 않는 경우 하나의 참조노드에 기반한 좌표계를 설정하는 알고리즘을 제시하였다. 하지만 이는 통신 오버헤드가 매우 크다는 단점이 있다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 보완하는 WSN을 위한 위치 추정 기법을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 방법은 소수의 위치 정보를 아는 지표 노드(anchor node)를 통해 위치 정보를 알게 된 노드가 요청이 있을 경우 가상 지표 노드(virtual anchor node)가 되어 자신의 위치를 주위 노드들에게 알려주게 된다. 각 노드는 수신된 신호를 이용하여 anchor와 자신 사이의 거리를 알 수 있고, 이를 이용하여 삼각 측량(triangulation) 기법을 통해 위치를 계산한다. 이 방법을 통해 보다 적은 비용으로 보다 많은 노드들이 자신의 위치를 알 수 있다. 본 논문에서 제안한 알고리즘

을 VALT (Virtual Anchor based Localization using Triangulation method) 라고 명명한다.

본 논문에서는 VALT 알고리즘에 대해 소개하고 그 성능을 분석한다.

## II. VALT

### 1. 알고리즘 소개

VALT 알고리즘은 WSN에서 각 노드의 위치를 알아냄에 있어서 저비용성, 확장성, 낮은 통신 오버헤드 등의 특성을 가지기 위해 고안된 알고리즘이다. VALT 알고리즘은 각 노드들의 위치를 알아내기 위해 삼각측량(triangulation) 기법을 이용하는데 이를 위해서는 각 노드사이의 거리를 알아야한다. 각 노드 사이의 거리를 아는 기법으로는 TOA (Time of Arrival), TDOA (Time Difference of Arrival), AOA (Angle of Arrival), RSSI (Received Signal Strength Indicator)를 이용하는 방법 등 여러 가지 방법이 있다[3,4,5]. 본 논문은 네트워크 전체 노드의 위치를 추정하는 기법을 다루므로 위의 여러 가지 기법 중 어느 하나를 사용하여 각 노드 사이의 거리를 알 수 있다고 가정한다.

많은 수의 센서 노드들 중에서 GPS, 사용자 입력과 같은 여러 방법에 의해 자신의 위치를 알고 있는 일부의 노드들을 지표 노드 (anchor node)라고 부르기로 한다. 지표 노드는 네트워크가 초기화할 때 자신의 좌표를 기록한 비콘(beacon)을 뿌린다. 세 개 이상의 비콘을 받은 일반 노드들은 아래의 식을 이용하여 자신의 위치를 계산해낼 수 있다. 자신의 위치를  $x$ , 수신된 비콘으로 알게 된  $i$ 번째 지표 노드의 위치를  $(x_i, y_i)$ , 거리를  $d_i$ 라고 한다.

$$(x-x_i)^2+(y-y_i)^2=d_i^2 \text{ for } i=1, \dots, n \quad (1)$$

$$\begin{aligned} 2x(x_i-x_1)+2y(y_i-y_1) &= \\ d_1^2-d_i^2+x_1^2-x_i^2+y_1^2-y_i^2 & \\ , i=2, \dots, n, n \geq 3 \quad (2) \end{aligned}$$

(1)식과 같은 식을 선형 시스템으로 바꾸기 위해 나머지 식들과 하나의 식을 빼면 (2)식과 같은 식이 만들어진다. 이후 각 식을 연립하여 해를 구할 수 있다. 위 식을 통해 자신의 위치를 알게 된 일반 노드는 자신의 상태를 가상 지표 노드 (virtual beacon node)라고 생각한다. 가상 지표 노드는 세 개 이상의 비콘을 받지 못하여 아직 위치를 파악하지 못한 노드가 비콘 요청 신호(beacon request: BREQ)를 보내면 이에 응답하여 자신의 위치를 담은 비콘을 뿌리는 역할을 한다. 가상 지표 노드가 된 노드들은 자신의 위치를 알아냈지만 비콘 요청 신호(BREQ)가 올 것에 대비하여 일정시간동안 기다린 후 알고리즘을 끝내게 된다. 비콘을 일정시간 동안 기다려도 셋 이상 받지 못한 노드들

은 스스로 비콘 요청 신호 (BREQ)를 뿌린다. 가상 지표 노드는 이 요청에 응답하여 비콘을 뿌리고 일반 노드들은 이를 받아 자신의 위치를 파악하게 된다. 이러한 절차를 순서도로 나타내어 보면 아래 그림 1과 같다.

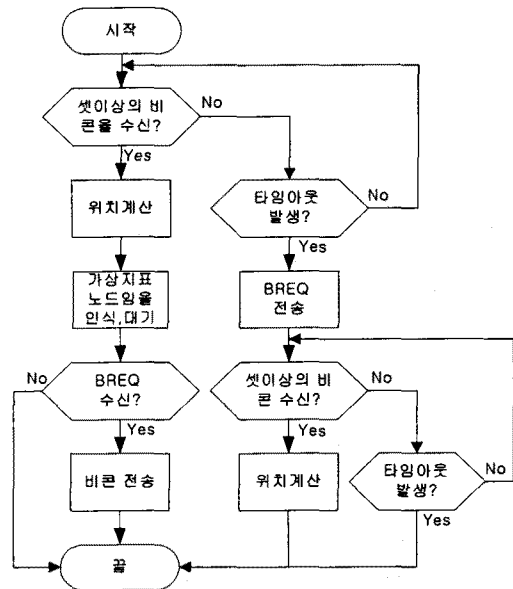


그림 1. VALT 알고리즘 순서도

Fig. 1. Flowchart of the VALT algorithm

VALT 알고리즘은 주위의 한 홉(hop)내의 정보만을 이용하므로 확장성(scalability)이 높다. 또 오차가 전파 되지 않는다. 그리고 각 노드당 한번의 패킷 전송만이 필요하며, 위치를 알 수 있는 일부 노드만을 이용하여 많은 수의 노드의 위치를 계산해낼 수 있는 저비용의 알고리즘이다.

## III. 분석

### 1. 통신 오버헤드와 소요시간

분석을 위해  $N_a$ 개의 지표 노드와  $N_g$ 개의 일반 노드를 가지는 센서 네트워크를 구성했다고 하자. 그렇다면 VALT 알고리즘은 지표 노드가 비콘을 한번씩 뿌리고, 가상 지표 노드가 되지 못한 일부의 노드가 비콘 요청 신호를 보내고 가상 지표 노드들이 비콘을 다시 보내게 되므로  $N_a + N_g$ 번만큼의 오버헤드가 발생하게 된다. 또한 이 알고리즘을 수행할 때 걸리는 시간은 각 노드의 타이머 타임아웃 시간이  $T_{out}$ , 비콘 송신 시간이  $T_b$ 라고 할 경우, 최대  $T_b + 2T_{out}$  만큼의 시간이 소요된다.

## 2. 이상적인 지표 노드 배치와 최소 지표 노드 개수

가로 길이  $X$ , 세로 길이  $Y$ 인 영역에 WSN을 구성하여 VALT 알고리즘을 적용하고자 할때 이상적인 지표 노드의 배치와 필요한 지표 노드의 최소 개수를 구할 수 있다. 필요한 지표 노드의 최소 개수를  $N$ 이라고 하자.  $N$ 을 구하기 위해 최소의 지표 노드만을 사용할 수 있는 배치 방법에 대해 서술한다. 이상적인 지표 노드의 배치 문제의 경우, 본 알고리즘이 삼각측량 기법에 기반하고 있기 때문에 정삼각형 형태로 지표 노드를 배치하는 것이 이상적이다. 모든 노드의 전송 반경이  $R$ 로 동일하다고 가정할 때 삼각형의 꼭지점에 위치한 노드가 그리는 반경  $R$ 인 원이 삼각형의 무게중심을 통과하는 경우가 되게 한다. WSN의 특성상 충분히 많은 수의 노드가 존재한다고 가정한다면, 이 때 무게 중심 점에 가상 지표 노드가 생기게 된다. 이렇게 하면 중앙에 있는 지표 노드의 전송 반경에 6개의 가상 지표 노드가 생기게 된다. 이 경우 중앙에 있는 지표 노드의 전송 반경 안에 있는 모든 노드들이 하나 혹은 두 개의 가상 지표 노드의 전송 반경에 속하게 되고, 세 개의 비콘을 수신할 수 있게 된다. 이렇게 배치할 때 최소의 숫자로 모든 영역에 있는 노드가 지표 노드와 가상 지표 노드를 합하여 세 개의 비콘을 수신할 수 있다. 이는 아래의 그림 2를 통해 알 수 있다.

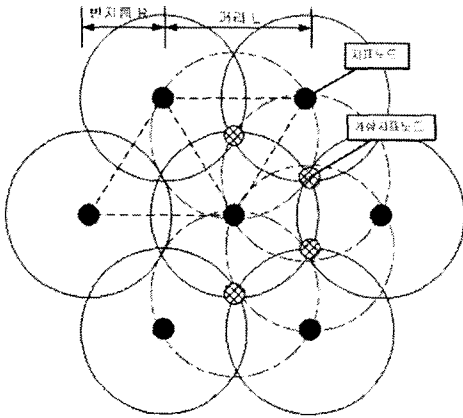


그림 2. 지표 노드의 이상적인 배치 형태  
Fig. 2. Ideal distribution of anchor nodes

이 경우 가상 지표 노드의 위치는 삼각형의 세 꼭지점으로부터 똑같이  $R$ 만큼 떨어진 지점이므로, 지표 노드가 이루는 정삼각형의 무게중심이 된다. 이 경우 삼각함수 공식을 통해  $L = \sqrt{3}R$ 이라는 식이 성립한다. 이와 같은 형태로 길이 가로  $X$ , 세로  $Y$ 의 크기를 가지는 직사각형 영역을 채우려고 하는 경우 아래 그림 3과 같이 구성된다. 사각형의 경계에서는 삼각형을

만들 수 없으므로  $X \times Y$  영역에서 VALT 알고리즘을 적용하기 위해서는 가로로  $2R$ 만큼, 세로로  $R$ 만큼의 점선 영역이 더 필요하게 된다.

이때 가로축의 점선 상에 있는 지표 노드의 개수가  $a$  개, 세로축의 점선 상에 있는 지표 노드의 개수가  $b$  개라고 하자. 세로축에서 지표 노드 사이의 거리는 삼각함수 공식을 통해  $\sqrt{3}L$ 이 된다. 이 때 다음과 같은 식이 성립한다.

$$\begin{aligned} L \times a &= \sqrt{3}Ra \geq X, \\ a &\geq \frac{X}{\sqrt{3}R} \\ \sqrt{3}L \times b &= 3Rb \geq Y, \\ b &\geq \frac{Y}{3R} \end{aligned} \quad (3)$$

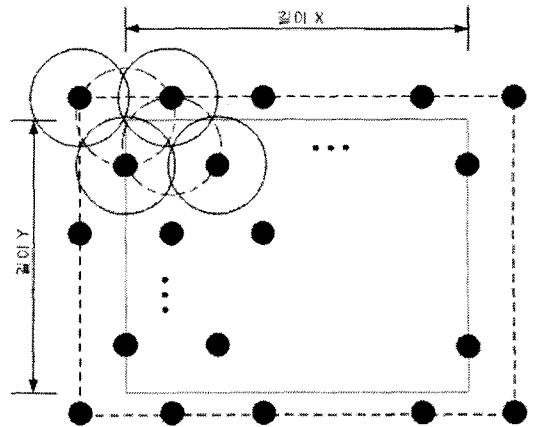


그림 3.  $X \times Y$ 크기의 영역에서 지표 노드 배치  
Fig. 3. Distribution of anchor nodes in  $X \times Y$  region

위 그림 3에서 전체 지표 노드의 개수는  $ab + (a-1)(b-1)$  개가 되므로, (3) 식에 의해 아래 식 (4)와 같은 부등식이 성립한다.

$$ab + (a-1)(b-1) \geq \frac{2XY}{3\sqrt{3}R} - \frac{\sqrt{3}R+Y}{3R} + 1 = N \quad (4)$$

우변의  $N$ 값인  $\frac{2XY}{3\sqrt{3}R} - \frac{\sqrt{3}R+Y}{3R} + 1$ 이 최소 지표 노드의 개수이다. 이 식을 통해 영역의 크기와 노드의 전송 범위를 알면 최소 몇 개의 지표 노드를 사용해야 하는지를 알아낼 수 있다. 이는 이상적으로 지표 노드를 배치하였을 때 최소로 필요한 지표 노드의 개수이다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 낮은 비용으로 높은 확장성을 제공하는 위치 추정 알고리즘을 제안하였다. 제안된 VALT 알고리즘은 삼각 측량 방식을 이용하여 노드의 위치를 계산하고, 가상 지표 노드의 개념을 사용하여 비용을 낮추고 확장성을 높였다. 이 알고리즘은 위치 추정이 필요한 무선 센서 네트워크에서 사용될 수 있으며 특히 비용을 고려할 때 효과적인 알고리즘이다. 본 논문을 통해 VALT 알고리즘을 사용할 경우 발생하는 통신 오버헤드와 시간, 이상적인 지표 노드의 배치 형태와 필요한 지표 노드의 최소 개수를 제시하였다. 노드의 전송 범위와 사용하고자 하는 영역의 크기를 알면 필요한 지표 노드의 최소 개수를 알 수 있다. 향후 시뮬레이션을 통해 제시된 알고리즘의 효용성을 검증할 것이다.

#### 참 고 문 헌

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam and E. Cayirci, , "Wireless sensor networks: a survey", Computer Networks, Volume 38, Issue 4, pp. 393-422, Mar. 2002.
- [2] Ian F. Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasubramaniam, and Erdal Cayirci, "A survey on sensor networks", IEEE Communication Magazines, Volume 40, Issue 8, pp. 102-114, Aug. 2002.
- [3] D. Niculescu, B. Nath, "Ad hoc positioning system (APS) using AOA", INFOCOM, Volume 3, pp. 1734-1743, Mar. 2003.
- [4] Tian He, Chengdu Huang, Brian M. Blum, John A. Stankovic, Tarek Abdelzaher, "Range-free localization schemes for large scale sensor networks", Proceedings of the 9th annual international conference on Mobile computing and networking, pp. 81-95, Sep. 2003.
- [5] R. Iyengar, B. Sikdar, "Scalable and distributed gps free positioning for sensor networks", IEEE International Conference on Communications, Volume 1, pp. 338-342, 2003.