

# Localization Algorithm without Range Information in Wireless Sensor Networks

Byounghwa Lee, Wooyong Lee and Dooseop Eom

Department of Electronics and Electrical Engineering  
Korea University, Seoul, Korea

### Abstract

A sensor network is composed of a large number of sensor nodes that are densely deployed in a field. Each sensor performs a sensing task for detection specific events. After detecting this event, location information of the sensor node is very important. Range-based scheme of the proposed approaches typically achieve high accuracy on either node-to-node distances or angles, but this scheme have a drawback because all sensor nodes have the special hardware. On the other hand, range-free scheme provides economic advantage because of no needed hardware even if that leads to coarse positioning accuracy. In this paper, we propose a range-free localization algorithm without range information in wireless sensor networks. This is a range-free approach and uses a small number of anchor nodes and known sensor nodes. This paper develops a localization mechanism using the geometry conjecture (perpendicular bisector of a chord). The conjecture states that a perpendicular bisector of a chord passes through the center of the circle.

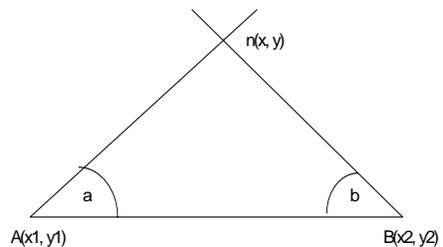
## 1. Introduction

Localization이란 위치 정보를 알기 위한 알고리즘 또는 그 모든 과정을 포함하는 개념이라 할 수 있다. Localization 방법은 크게 두 가지로 분류 될 수 있다. 그 중 첫 번째는 range-based 방법이다. 이것은 노드와 노드 사이의 거리 또는 각도 정보를 통해서 위치를 가능하는 방법이다. 그 정보는 TOA, TDOA, AOA의 방법을 통해서 얻어지게 된다. TOA 방법은 전파의 도달 시간을 이용하여 거리를 계산하는 방법이다[1]. 대표적으로 네비게이션에 이용되는 GPS가 있다. 다음의 TDOA는 신호의 도착 시간 차이를 이용하는 방법이다[2]. 예를 들어 전파와 초음파 사이의 시간 차를 이용하면 거리 정보를 얻을 수 있다. 마지막으로 AOA는 그림 1에서와 같이 신호가 들어오는 곳의 각도 정보를 가지고 위치를 예상하는 방법이다[3],[4].

보통 이런 range-based 방법은 높은 정확도를 보장해주는 장점이 있지만 이런 거리 또는 각도 정보를 얻기 위해서는 특별한 하드웨어가 필요하게 되므로 수천 또는 수만 개의 센서 노드가 필요한 일반적인 환경에서는 적절하지 못하다. Localization의 두 번째

방법은 range-free 방법이다. 이것은 센서 노드의 위치를 결정하는데 거리 또는 각도 정보를 쓰는 대신 다른 방법을 사용한다. 비록 range-based 방법에 비해서 오차의 크기는 커지지만 특별한 하드웨어가 필요하지 않게 됨으로 센서 네트워크와 같이 많은 수의 노드가 필요한 환경에서는 더 적절한 방법이라고 할 수 있다[5].

본 논문에서는 센서 네트워크 환경에서 필요한 위치 정보를 얻기 위해서 range-free 방법을 이용한 새로운 localization 방법을 제안하고자 한다. 원의 현의 이등분선은 그 중심을 지난다는 수학 이론을 통하여 RSSI 값을 이용하여 센서 노드를 중심으로 하는 현을 찾고 두 개의 현의 이등분선을 통하여 센서 노드의 위치를 계산 할 수 있게 된다[6].



본 연구는 민군겸용기술사업 (Dual Use Technology Program)으로 지원받았음.

그림 1. AOA(Angle Of Arrival)

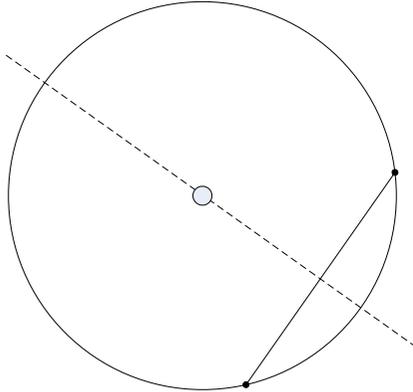


그림 2. 현의 수직 이등분선

이와 같은 알고리즘은 시뮬레이션을 통하여 검증하여 본 결과 이전까지 제안된 방법들에 비해서 위치 오차를 줄이는 이점을 가진다는 것을 알 수 있었다.

본 논문의 구성은 2 장에서 기존의 range-free localization 알고리즘에 대해 알아보고, 3 장에서는 제안하는 새로운 알고리즘에 대해서 설명할 것이다. 그리고 4 장에서는 시뮬레이션을 통한 제안한 알고리즘의 타당성을 검증하며, 마지막으로 5 장에서는 결론을 맺도록 하겠다.

## 2. Related Work

앞서 설명한 바와 같이 기존에 제안된 localization 방법은 크게 두 가지로 분류 할 수 있다. 그러나 range-based 방법을 이용하기 위해서는 특별한 하드웨어가 필요하며 이를 모든 센서 노드들에게 장착시키기 위해서는 비용면에서 비효율적이기에 여기서는 다루지 않기로 하겠다. 따라서 여기에서는 경제성에 이점을 가진 기존에 대표적인 range-free 방법인 centroid, APIT 에 대해 설명하고 각각의 알고리즘이 가진 장점과 단점을 다루도록 하겠다.

### 2.1 Centroid Algorithm

자신의 위치를 알고 있는 앵커 노드는 통신 반경에 있는 센서 노드들에게 자신의 위치를 브로드캐스트한다. 보통 앵커 노드의 통신 반경이 센서 노드의 그것보다 몇 배 이상 크기 때문에 센서 노드들은 몇 개의 앵커 노드의 비콘 신호를 듣게 된다. 센서 노드가 수신하는 앵커 노드의 좌표 수가 많을 수록 오차율이 작아지기 때문에 앵커 노드의 통신 반경은 작으면서 앵커 노드의

개수가 되도록 많이 배치 할 수 있는 네트워크에서 이 방법은 유용하다. 비콘 신호를 받은 센서 노드들은 앵커 노드의 위치를 저장하고 있다가 더 이상 새로운 앵커 노드의 좌표에 관한 비콘 신호가 수신되지 않으면 localization 을 한다. 수신된 비콘에 저장되어 있는 앵커 노드의 좌표를 아래와 같이 centroid 방식을 이용하여 자신의 위치를 결정하게 된다[7].

$$(X_{estimation}, Y_{estimation}) = \left( \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_k}{k}, \frac{Y_1 + Y_2 + \dots + Y_k}{k} \right)$$

(X1, Y1),.....(Xk, Yk): 수신된 앵커 노드 좌표

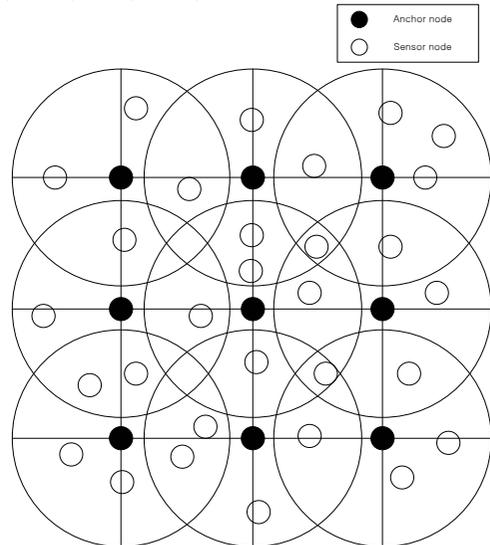


그림 3. Centroid Algorithm

이 방법은 단순하게 센서 노드의 위치를 계산 할 수 있다는 장점이 있다. 각각의 센서 노드는 앵커가 보내는 비콘만 듣고 있다가 더 이상의 새로운 비콘 신호가 없으면 수신된 모든 앵커 노드들의 중심을 계산하여 자신의 위치로 삼는다. 계산과정이 단순하지만 이 방법은 커다란 오차를 발생시킨다. 앞서 설명한 바와 같이 수신된 앵커 노드의 좌표가 많을 수록 위치 오차가 줄어드나 앵커 노드의 가격이 센서 노드에 비해 고가이기 때문에 개수에 제한을 받을 수 밖에 없는 센서 네트워크 환경에서는 적절하지 못하다.

**2.2 APIT Algorithm**

이 알고리즘은 모든 앵커 노드는 자신의 위치 정보를 브로드캐스트 시키는 것으로부터 시작한다. 이를 수신한 센서 노드는 앵커의 ID, 위치, RSSI 값을 테이블로 저장하게 된다. 그리고 노드들은 자신이 가지고 있는 앵커 테이블을 이웃 노드들과 서로 교환한다. 그런 다음 임의의 3 개의 앵커로부터 자신이 삼각형 안에 존재 하는지 여부를 판단하게 된다. 판단을 하는 위해서 APIT 테스트라는 것을 수행하게 된다. 이것은 localization 을 수행하고자 하는 센서 노드의 이웃 노드들 중에서 하나라도 임의로 잡은 3 개의 앵커 노드에 동시에 가까워 지거나 동시에 멀어지는 현상이 나타나면 자신의 위치가 세 개의 앵커 노드로 만든 삼각형 밖에 존재하는 것으로 인식한다. 이와 반대로 이런 현상이 나타나지 않는다면 자신을 삼각형 내부에 존재한다고 인식한다. 이런 과정을 반복하여 모든 경우에 대하여 3 개의 앵커로부터 삼각형의 오버랩 되는 부분을 찾음으로써 자신의 위치를 결정하게 된다[8].

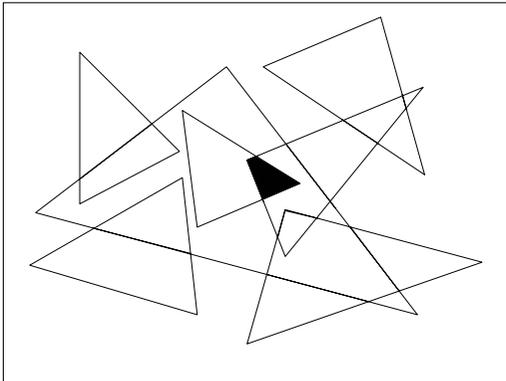


그림 4. APIT Algorithm

이 알고리즘은 위치 결정을 하는데 있어 자신의 위치가 삼각형의 안쪽에 존재하는나 외부에 존재하는나의 여부가 가장 중요한 문제이다. 삼각형을 그렸을 때 변의 주변에 위치하는 노드들은 삼각형 안에 있는지 밖에 존재하는지 틀리게 판단 할 확률이 높아진다(edge effect). 이와 반대로 삼각형 외부에 있는데 이웃 노드들의 부적절한 배치로 인해서 내부에 있다고 판단하여 위치 오차를 발생시키는 경우가 발생할 수도 있다.

APIT 알고리즘은 자신이 수신한 모든 앵커 노드에 대해서 삼각형을 그리고 오버랩 되는 부분을 찾는 것이기 때문에 자신의 위치를 틀리게 판단한 노드의

위치 오차는 커 질 수 밖에 없다. 센서 네트워크 환경은 노드가 밀집하여 분포하기 때문에 이웃 노드의 부적절한 위치로 인해서 발생하는 삼각형 내부로의 잘못된 판단은 줄어 들겠지만 삼각형의 변에 위치하는 노드들에 의해서 localization 은 오차가 커 질 수 밖에 없다.

**3. Proposed Approach**

기존의 알고리즘에서 문제점으로 지적되어온 지나치게 큰 오차율을 줄이기 위해서 본 논문에서는 앵커 노드 만을 위치 결정을 위해 사용하지 않고 새롭게 위치를 알게 된 센서 노드 또한 localization 에 사용함으로써 이전에 제한된 알고리즘에 비해 위치 오차를 줄일 수 있는 새로운 방안을 제시하였다.

센서 필드에는 두 종류의 노드들이 함께 뿌려진다. 자신의 위치 정보를 알고 있는 앵커 노드와 알지 못하는 센서 노드들이 그것이다. 자신의 위치를 알고 있는 앵커 노드들은 보통 GPS 모듈을 가지고 있어서 자신의 위치를 정확하게 알 수 있다. 또한 통신 반경이 일반적인 센서 노드들에 비해서 훨씬 크다. 이런 이유로 인해서 앵커 노드들의 가격은 고가이며 이로 인해서 센서 필드 내에서 앵커 노드의 개수에는 제한을 받을 수 밖에 없다.

처음 센서 필드 내에는 앵커 노드와 센서 노드가 무작위로 위치하게 된다. GPS 를 통하여 자신의 절대 위치를 알고 있는 앵커는 통신 반경 안에 존재하는 센서 노드들에게 자신의 위치 정보를 비콘에 실어서 전송한다. 이를 수신한 센서 노드들은 앵커의 위치와 RSSI 값을 자신의 메모리에 저장하고 같은 RSSI 값을 가진 또 다른 앵커가 발견되면 하나의 현을 완성 할 수 있게 되고 또 다른 한 쌍의 앵커를 찾게 되면 두 개의 현의 수직 이등분선 교점이 자신의 위치가 되는 것이다[9].

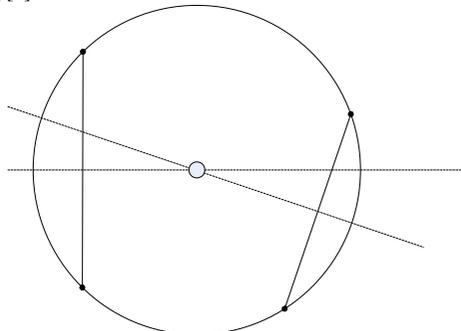


그림 5. 두 현의 수직 이등분선의 교점

그림 5 처럼 같이 반드시 두 개의 현의 위치가 반드시 같은 원상에 있을 필요는 없다. 그림 6 에서와 같이 동심원 상에 존재하는 또 다른 현을 찾을 수 있다면 같은 결과 값을 얻을 수 있다.

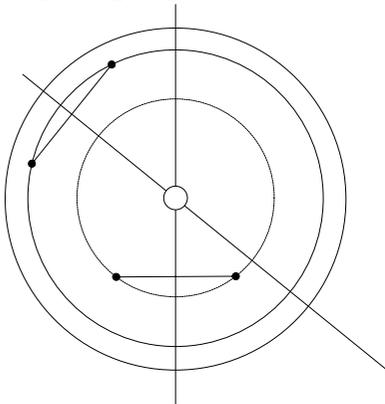


그림 6. 동심원상에서 두 현의 수직 이등분선 교점

제안하는 알고리즘은 3 단계로 이루어진다. 첫 번째는 앵커 노드를 이용한 센서 노드의 위치 결정 단계이고 두 번째는 앵커와 첫 번째 단계를 통해서 위치를 알게 된 센서 노드 또는 그 센서 노드 만을 이용하여 위치를 결정하는 단계이다. 마지막으로 첫 번째와 두 번째 단계를 통해서도 위치를 알지 못한 센서 노드들은 centroid 방식을 통하여 자신의 위치를 계산하는 단계이다.

**3.1.1 단계**

센서 필드 내에서 앵커 노드는 자신의 위치 정보를 통신 반경에 있는 센서 노드들에게 비콘에 실어서 전송한다. 이를 수신한 센서 노드들은 다음과 같은 형식으로 정보를 담고 있게 된다. 그림 7 은 앵커 노드 A 가 보낸 신호를 수신한 센서 노드들이 저장하고 있는 RSSI 값을 나타내고 있다.

그림 8에서 앵커 A 와 앵커 B가 보낸 비콘 신호를 수신한 센서 노드들은 자신이 가지고 있는 테이블에 같은 크기의 RSSI 값이 존재하는지 여부를 찾게 된다.

그림에서 보면 같은 크기를 가진 센서 노드들이 세 개 있음을 알 수 있다. 즉, 테두리가 두껍게 표시된 센서 노드들은 메모리에 저장된 RSSI 값을 통하여 앵커 노드 A, B 를 현의 양 끝점으로 하는 노드들을 나타낸 것이다.

앵커 노드 위치	RSSI 값
:	:

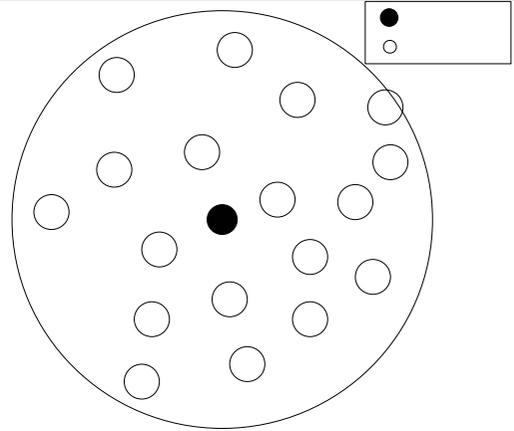


그림 7. 비콘 수신 후 RSSI 값

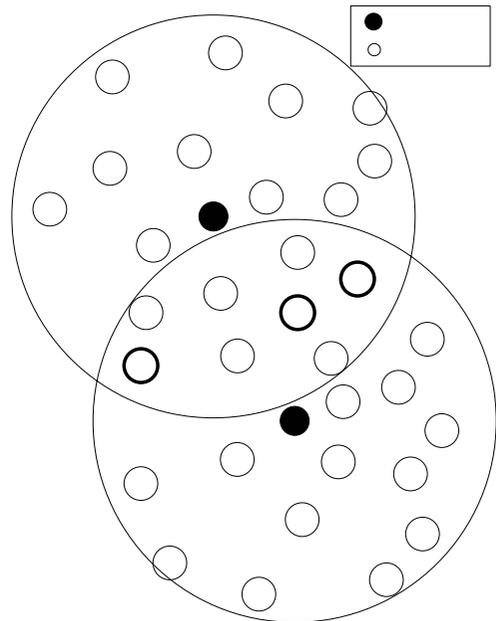


그림 8. 두 앵커로부터 RSSI 값 수신

다음으로 이 센서 노드들은 다른 앵커 노드들이 보낸 비콘 신호를 수신하게 될 것이며 이를 자신의 메모리에 저장되어 있는 RSSI 값을 비교하여 일치하는 또 다른 앵커 노드의 쌍을 찾게 되면 두 개의 현이 발견되었기에 자신의 localization 을 수행 할 수 있게

된다. 그림 9 는 RSSI 값을 통하여 구한 두 개의 현을 가지고 실제 수식을 이용하여 센서 노드의 위치를 구하는 과정을 설명하고 있다. 아래의 식에서  $L(AB)$ 는 A, B 를 끝점으로 하는 현의 수직 이등분선을 나타내며  $L(BC)$ 는 B, C 를 끝점으로 하는 현의 수직 이등분선을 나타낸다.

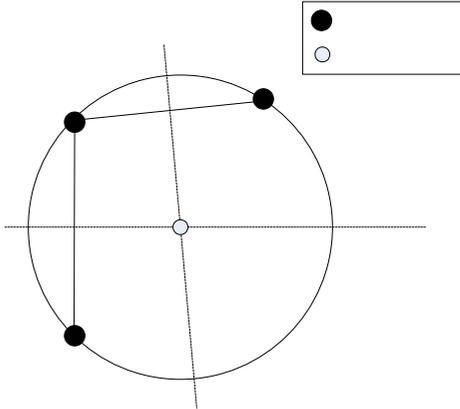


그림 9. 현의 수직 이등분선을 이용한 위치 측정

$$L(AB) = -\frac{(x_1 - x_2)}{(y_1 - y_2)} * \left( X - \frac{(x_1 + x_2)}{2} \right) + \frac{(y_1 + y_2)}{2}$$

$$L(BC) = -\frac{(x_2 - x_3)}{(y_2 - y_3)} * \left( X - \frac{(x_2 + x_3)}{2} \right) + \frac{(y_2 + y_3)}{2}$$

위에서와 같이 두 개의 현의 수직 이등분선의 교점을 구하면 자신의 위치를 구할 수 있다.

3.2.2 단계

1 단계를 통하여 새롭게 자신의 위치를 알게된 센서 노드들은 자신의 위치를 앵커 노드 처럼 이웃 노드들에게 비콘을 통하여 전송한다. 1 단계에서 만족하는 앵커의 쌍을 찾지 못한 노드들은 새롭게 추가된 센서 노드의 정보를 다음과 같은 형식으로 저장한다.

앵커 노드 위치	RSSI 값
:	:
:	:
추가된 센서 노드 위치	RSSI 값
:	:
:	:

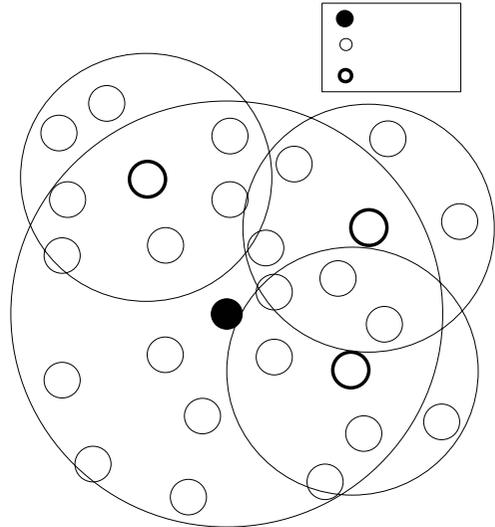


그림 10. 센서 노드들로부터 비콘 수신 후 RSSI 값

1 단계와는 다르게 2 단계에서는 앵커 노드 만을 이용한 위치 결정이 아니라 앵커 노드와 새롭게 위치를 알게 된 센서 노드 또는 센서 노드 만을 이용하여 위치를 결정하게 된다. 1 단계를 통하여 자신의 위치를 알게 된 센서 노드들은 이번 2 단계 과정에 참여하게 된다.

그림 10 에서 S1, S2, S3 라고 표시되어 있는 센서 노드들은 2 단계 과정을 수행하는데 있어서 앵커 노드 외에 1 단계를 통하여 새롭게 자신의 위치를 알게 된 노드로서 아직 위치를 계산하지 못하는 노드를 위해서 앵커 노드와 마찬가지로 비콘 신호를 이웃 노드들에게 전파한다.

3.3.3 단계

1 단계와 2 단계를 거쳐서도 자신의 위치를 알지 못하는 센서 노드들은 기존에 저장되어 있는 위치 결정을 완료한 센서 노드를 가지고 centroid 방식을 이용하여 자신의 위치를 결정하게 된다. 이 과정까지 오는 센서 노드의 수의 소수에 불과 하며 또한 이전 centroid 방식과는 다르게 앵커 노드가 보낸 비콘 신호를 받아서 수신된 모든 앵커 노드 위치의 중앙을 찾는 것이 아니라 새롭게 위치를 알게 된 센서 노드에서 보내오는 비콘 신호만을 받아서 수신된 모든 센서 노드의 중심을 찾는 것이다.

앵커 노드의 통신 반경은 일반 센서 노드 보다 몇 배 이상 크기 때문에 centroid 방식에서 큰 오차를 일으키지만  $B(x_2, y_2)$ 에서는 통신 반경이 작은 센서 노드를

이용해서 적용하기 때문에 오차가 작아지게 된다. 이를 통하여 센서 필드 내에 있는 모든 노드들은 마지막으로 자신의 위치를 결정하게 된다.

**4. Performance Evaluation**

본 절에서는 제안하는 알고리즘에 대한 성능 평가를 하였다. 기존에 제안되었던 알고리즘 중에서 기본이 되는 Centroid 방식과 가장 최신 발표된 APIT 을 비교대상으로 삼고 비교하도록 하였다. 이를 위해서 비주얼 C++ 6.0 을 가지고 시뮬레이션을 하여 성능 분석 하였다.

**4.1 RSSI 모델링**

수신되는 신호의 세기는 보통 아래의 그래프와 같은 형태를 취한다. 이론상으로 거리의 제곱에 반비례하여 신호의 세기는 감쇠한다.

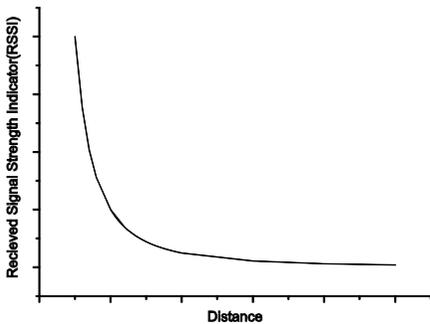


그림 11. 거리에 따른 RSSI 값

본 논문에서도 같은 식으로 modeling 을 하였다. 거리에 따라서 그에 해당되는 RSSI 값이 수신 노드에 비콘과 함께 저장된다. 이를 통하여 수신 노드는 RSSI 값을비교하여 위치를 계산하게 된다.

**4.2 DOI 모델링**

실제로 전파의 방사 패턴은 안테나 모양 등의 영향으로 완벽하게 원을 이루지 않는다. 이런 전파의 불규칙한 성질 때문에 이를 표현하는데 필요한 새로운 파라미터를 추가 시켰다. DOI 는 단위 각도에 대한 최대 전송 범위의 변화율을 나타낸다. 보통 일반적인 환경에서의 DOI 는 0.05 정도의 값을 가지고 있으므로 시뮬레이션에서도 그와 같이 설정하고 실험을 진행하였다.

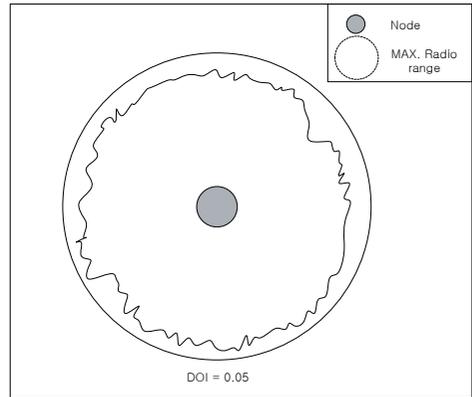


그림 12. DOI = 0.05 경우

**4.3 시나리오**

시뮬레이션을 위한 기본 환경은 300 × 300 m<sup>2</sup>의 정사각형이다. 센서 필드에 앵커 노드와 센서 노드들을 랜덤하게 분포 시키고 실험을 진행하였다.

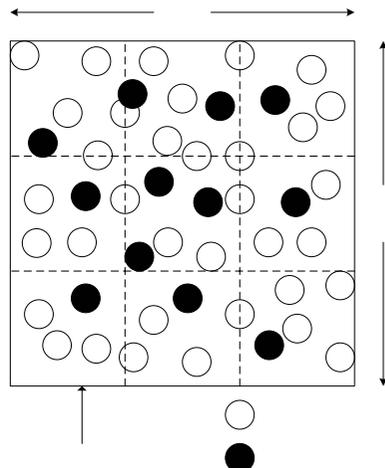


그림 13. 시뮬레이션 환경

시뮬레이션 분석을 위해서 다음과 같은 측정 기준을 이용하였다.

- 평균 위치 오차 : 계산을 통하여 얻어진 예상 좌표 (X<sub>ei</sub>, Y<sub>ei</sub>)와 실제 위치(X<sub>i</sub>, Y<sub>i</sub>) 사이의 평균 거리

$$\text{평균 위치 오차} = \frac{\sum \sqrt{(X_{ei} - X_i)^2 + (Y_{ei} - Y_i)^2}}{\# \text{ of sensor nodes}}$$

- # of beacon messages : 앵커 노드로부터 전송된 비콘 메시지를 제외한 센서 노들끼리의 비콘 메시지 전송 횟수

4.4 제안하는 알고리즘의 성능 평가

제안한 알고리즘의 성능 평가를 위해 다음과 같은 파라미터를 이용하였다.

표 1. 파라미터 값

Parameter	Value				
Anchor Radio Range (m)	20	40	60	80	100
# of Anchor (% of Sensor node)	2	3	4	5	6
Node Radio Range (m)	15	20	25	30	35
Node Density	150	200	250	300	3500

그림 14 은 5 가지의 다른 앵커 통신 반경을 가지고 시뮬레이션을 수행한 결과를 나타낸다. 기본적으로 센서 노드의 수는 3000 개, 센서 노드 통신 반경은 20m, 앵커 노드의 수는 90 개로 고정시킨 상태에서 실험을 진행하였다.

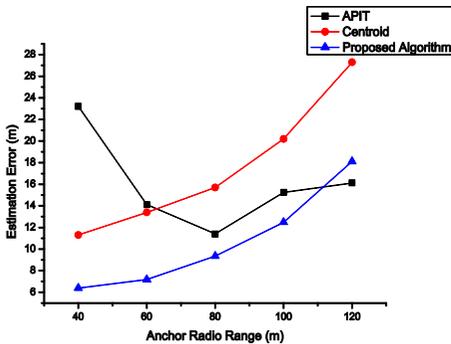


그림 14. 앵커의 통신 반경에 따른 위치 오차

모든 통신 반경에 있어서 제안한 알고리즘이 가장 작은 위치 오차를 발생시키는 것을 알 수 있다. 이는 앵커 노드는 정확한 자신의 위치를 가지고 있기 때문에 주변의 센서 노드들에게 되도록 많이 참조 될수록 이를 수신한 센서 노드가 localization 을 수행 할 시 오차를 줄이는 역할을 하기 때문이다. 이에 반해 centroid 는 비록 많은 수의 비콘을 수신 할지라도 앵커 노드까지의 거리가 길기 때문에 오차를 크게 발생시킨다. 또한 APIT 의 경우 많은 수의 삼각형을 만들 수 있어서 처음에는 위치 오차가 줄어 들다가 어느 한계에

이르러서는 edge effect 에 의해서 위치 오차를 크게 만들기 시작한다.

그림 15 은 앵커의 개수에 따른 위치 오차를 나타낸 그래프이다. 이 실험에서는 앵커 노드의 통신 반경을 60m, 센서 노드의 개수는 3000 개, 센서 노드의 통신 반경을 20m 로 고정된 상태에서 진행하였다.

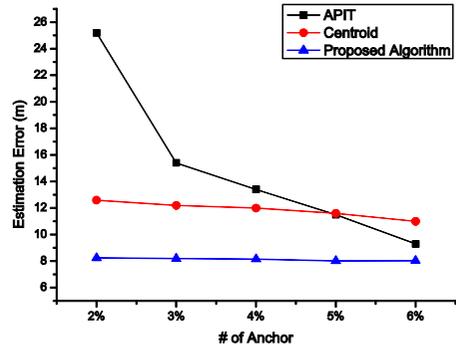


그림 15. 앵커의 개수에 따른 위치 오차

이 그래프에서도 제안한 알고리즘이 가장 작은 위치 오차를 보이고 있다. 앵커 노드의 개수가 많을수록 앵커 노드 주변에 위치한 센서 노드들은 많은 정보를 가지게 될 것이기 때문이다. Centroid 의 경우도 앵커 개수에 비례해서 비콘 신호를 받게 될 것이고 이는 위치 오차를 감소시키겠지만 알고리즘의 한계상 위치 오차를 크게 줄이지는 못하고 있다. APIT 역시 앵커 노드의 수가 증가하면서 좋은 성능을 보이고 있지만 제안한 알고리즘에 비해서는 현저하게 큰 오차를 보이고 있다.

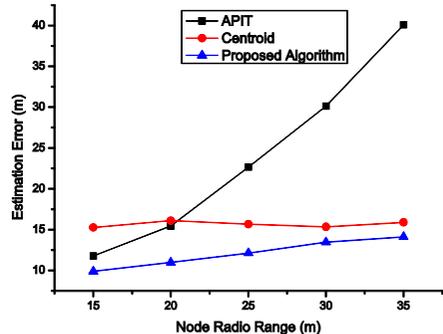


그림 16. 센서 노드의 통신 반경에 따른 위치 오차

그림 16 은 센서 노드의 통신 반경에 따른 성능을 나타낸 것이다. 여기서 앵커 노드의 통신반경은 80m, 앵커 노드의 개수는 90 개, 센서 노드의 수는 3000 개로 고정하고 실험을 진행하였다. 여기에서도 다른 기존의 알고리즘에 비해서 우수한 성능을 보이고 있다. 제안한 알고리즘이 앵커 노드를 통해서 센서 노드의 위치를 결정하고 나면 자신의 위치를 알게된 센서 노드 역시 앵커 노드와 같이 비콘 신호를 보내어 localization 을 하는데 참여하게 되기 때문에 센서 노드의 통신 반경이 작을수록 위치 오차를 줄일 수 있게 되는 것이다. 다만 통신 반경이 너무 작아지게 되면 참조 할 수 있는 센서 노드의 수가 적어짐을 의미하기 때문에 적절한 조화가 필요하다. Centroid 방식은 앵커 노드만이 localization 에 쓰임으로 노드의 통신반경에 영향을 받지 않고, APIT 의 경우는 통신 반경이 커질수록 edge effect 가 발생 할 확률이 커짐으로 위치 오차가 급격하게 증가한다.

다음으로 센서 노드의 수와 위치 오차와의 관계를 실험해 보았다. 앵커 노드의 통신 반경 90m, 앵커 노드의 개수는 90 개, 센서 노드의 통신 반경 30m 로 놓고 진행하였다.

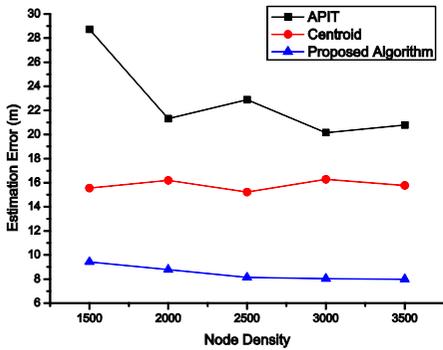


그림 17. 센서 노드의 개수에 따른 위치 오차

센서 노드의 수가 많다는 것은 하나의 센서 노드의 통신 반경 안에 localization 을 수행하는데 참조 할 것들이 많음을 의미한다. 그림 17 에서 보는 바와 같이 노드 수가 증가 할수록 위치 오차는 줄어든다. Centroid 는 앞서 설명한 바와 같이 영향을 받지 않을 것이며, APIT 은 어느 정도 수준까지는 위치 오차가 줄어 들다가 증가세를 보일 것이다. 이는 이 알고리즘이 삼각형의 내부 또는 외부로 판단 할 때 이웃 노드들을 이용하기 때문이다. 이웃 노드들의 수가 적으면 삼각형을 만든 세 개의 앵커 노드에 동시에

가까워 지거나 멀어지는 노드를 찾을 수 없어서 삼각형 외부를 내부라고 잘못 판단 하는 경우가 발생하기 때문이다. 또한 이웃 노드의 수가 많아지면 edge effect 를 발생시켜 내부를 외부라고 판단 할 수 있는 확률도 높아지기 때문에 위치 오차를 발생시킨다.

마지막으로 localization 과정 중에 전송 되어지는 센서 노드 간의 모든 비콘 메시지 전송 횟수에 대하여 실험하였다.

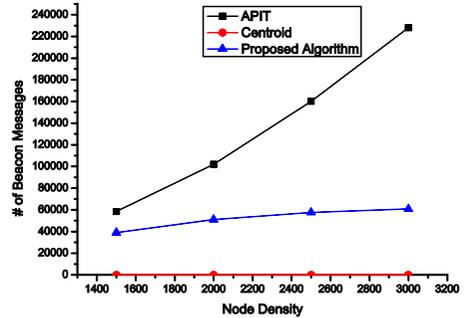


그림 18. 센서 노드의 개수에 따른 통신 overhead

그림 18 은 세가지 알고리즘에 대한 각각의 통신 overhead를 나타낸 것이다. Centroid 방식은 센서 노드 사이에 통신이 필요 없기 때문에 위와 같은 그래프의 모양을 나타내고 있으며, APIT 의 경우에는 반드시 자신의 이웃 노드들과 통신이 이루어져야 APIT Test 를 수행할 수 있기에 가장 큰 overhead 를 보이고 있다. 제안하는 알고리즘은 앵커 노드 만을 통해서 자신의 위치를 알게 된 센서 노드들은 이웃 노드들의 정보가 필요 없고 자신의 위치만 브로드캐스트 된다. 즉, 앵커 노드를 통해서 위치 정보를 얻지 못한 센서 노드들만이 위치를 알게 된 이웃 노드의 정보를 필요하게 되므로 APIT 알고리즘 보다 작은 overhead 를 보인다.

### 5. 결 론

본 논문에서는 RSSI 값을 이용하여 거리 정보를 필요로 하지 않는 위치 인식 알고리즘에 대해서 제안하고 그것을 시뮬레이션을 통하여 기존의 알고리즘과 비교하여 우수성을 검증하였다. 기본적으로 range-free 방식이 가지고 있는 range-based 방식에 비해 큰 위치 오차를 최대한 줄임으로써 경제적인 이점뿐만 아니라 정확도 측면에서도 상당한 개선을

이룩할 수 있었다.

기존에 제안된 방식 중에서 거리 정보를 필요로 하지 않는 알고리즘으로는 centroid, APIT 등이 있다. 두 개의 알고리즘 모두 장단점을 가지고 있지만 일반적인 환경에서 가장 오차를 보이는 것은 APIT 으로 증명되었다. 그러나 이 알고리즘이 높은 정확도를 유지하기 위해서는 요구 되어지는 조건이 많다. 많은 수의 앵커 노드와 넓은 앵커 노드의 통신 반경, 그리고 센서 노드 주변에 적절하게 배치 되어야 할 이웃 노드들 등 이 조건이 만족 되어야지 적은 오차를 보장한다. 그러나 본 논문에서 제안한 알고리즘은 적은 수의 앵커 노드만 있어도 APIT 알고리즘 보다 좋은 정확도를 제공하고 있다. 또한 앵커 노드와 위치를 알게 된 센서 노드의 비콘 신호만을 가지고 localization 을 수행하기에 훨씬 간단하다.

시뮬레이션 환경은 앵커 노드의 개수, 센서 노드의 개수, 앵커 노드의 통신 반경, 센서 노드의 통신 반경을 변화시키면서 3 가지 알고리즘에 대해서 성능을 비교하였다. 앞 절에서 살펴본 바와 같이 모든 실험 환경에서 제안하는 알고리즘은 월등히 작은 위치 오차율을 보이고 있었다. 이를 종합해보면 적은 수의 앵커 노드와 작은 통신 반경에서도 성능이 뛰어난 알 수 있다. 일반적인 센서 네트워크 환경에서는 센서 노드의 밀도가 조밀하며 앵커 노드의 개수와 통신 반경에 제한을 받는 다는 것을 감안하여 볼 때 논문에서 제안하는 방식이 효과적임을 알 수 있다.

### References

- [1] J. Caffery Jr. and G. L. Stuer, "Subscriber location in CDMA cellular networks," IEEE Trans. Veh. Technol., vol.47, pp. 406-416, May 1998.
- [2] N. B. Priyantha, A. Chakraborty, and H. Balakrishnan, "The cricket location-support system," in Proc. ACM Int. Conf. Mobile Computing Networking (MOBICOM), Boston, MA, Aug. 2000, pp.32-43.
- [3] D. Niculescu and B. Nath, "Ad Hoc Positioning System (APS) using AoA" in Proc. IEEE Joint Conf. IEEE Computer Communications Societies (INFOCOM), San Francisco, CA, USA, Mar. 2003, pp.1734-1743.
- [4] R. Klukas and M. Fattouche, "Line-of-sight angle of arrival estimation in the outdoor multipath environment," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 47, pp. 342-351, Feb. 1998.
- [5] Vijayanth Vivekanandan and Vincent W.S. Wong, "Concentric Anchor-Beacons (CAB) Localization for Wireless Sensor Networks", IEEE ICC 2006 proceedings.
- [6] J. Hightower, G. Boriello, and R. Want, "SpotON: An indoor 3D location sensing technology based on RF signal strength," Univ. of Washington, Tech. Rep. UW CSE 00-02-02, Feb. 2000.
- [7] N. Bulusu, J. Heidemann, and D. Estrin. "GPS-less low cost outdoor localization for very small devices," IEEE Personal Communications Magazine, vol. 7, no. 5, pp. 28-34, Oct. 2000.
- [8] T. He, C. Huang, B. Lum, J. Stankovic, and T. Adalzaher, "Range-free localization schemes for large scale sensor networks," in Proc. Of ACM Mobicom, San Diego, CA, Sept. 2003.
- [9] K.-F. Ssu, C.-H. Ou, and H. Jiau, "Localization with mobile anchor points in wireless sensor networks," IEEE Trans. On Vehicular Technology, vol. 54, pp. 1186-1197, May 2005.

저 자 소 개

이 병 화 (정회원)



2002 고려대학교 전자공학과 졸업  
(공학사)  
2002~ 현재 고려대학교 전자전기  
공학과 (석사과정)  
관심분야 : sensor network,  
embedded systems

엄 두 섭



1987 고려대학교 전자공학과 졸업  
(공학사)  
1989 고려대학교 전자공학과  
(공학석사)  
1999 오사카 대학교 정보컴퓨터  
공학과 (공학박사)  
2002~ 현재 고려대학교 공과대학  
전자전기공학과 교수

관심분야 : communication network design, wireless  
sensor network, RFID, internet QoS