

論文

DOI:10.5139/JKSAS.2011.39.8.750

센서 네트워크에서 모바일 앵커 노드(헬기)를 이용한 위치인식 알고리즘

이병화*

A Range-Free Localization Algorithm for Sensor Networks with a Helicopter-based Mobile Anchor Node

Byoung-Hwa Lee*

ABSTRACT

Wireless Sensor Network is composed of a lot of sensor nodes that are densely deployed in a field. So generally this sensor nodes are spreaded using Helicopter or Fixed wing. Each node delivers own location and acquired information to user when it detects specific events. In this paper, we propose localization algorithm without range information in wireless sensor network using helicopter. Helicopter broadcasts periodically beacon signal for sensor nodes. Sensor nodes stored own memory this beacon signal until to find another beacon point(satisfied special condition). This paper develops a localization mechanism using the geometry conjecture(perpendicular bisector of a chord) to know own location. And the simulation results demonstrate that our localization scheme outperforms Centroid, APIT in terms of a higher location accuracy.

초 록

센서 네트워크는 보통 넓은 지역에 조밀하게 센서 노드들이 분포되어 있는 형태로 구성된다. 이런 센서 노드들은 광활한 지역에 분포되는 관계로 초기에 헬기 등 기타 항공기를 이용해서 뿌려지는 것이 일반적이다. 각 센서 노드들은 특정 임무를 수행하며 획득된 정보를 자신의 위치 정보와 함께 최종 사용자에게 전달되는 형태로 운용된다. 여기서 노드들의 위치 정보가 필요하다. 본 논문은 센서 네트워크에서 헬기의 비콘 신호를 이용하여 센서 노드 사이의 거리정보를 필요로 하지 않는 알고리즘을 제안하였다. 센서 노드들은 위치를 계산하기 위해 헬기가 보내주는 주기적인 비콘 신호를 수신한다. 비콘 신호를 메모리에 저장하고 있다가 조건에 만족하는 다른 비콘 신호가 수신되면 이를 통해 자신의 위치를 추측한다. 이를 위해 본 논문에서는 기하학적 성질(현의 수직이등분)을 이용하였다. 기존에 존재하는 range-free 방식의 알고리즘과 비교 분석을 통해 제안하는 알고리즘의 정밀성을 입증하였다.

Key Words : Wireless Sensor Network(무선 센서 네트워크), Localization(위치 인식), Helicopter(헬기), Mobile Anchor Node(모바일 앵커 노드), Bisector(이등분선), RSSI(수신 신호 세기)

† 2011년 5월 16일 접수 ~ 2011년 7월 6일 심사완료

* 정회원, 국방과학연구소

교신저자, E-mail : lbh@add.re.kr

대전광역시 유성우체국 사서함 35-7호

I. 서 론

Localization 이라함은 일반적으로 센서 네트워크에서 각 센서노드들의 자신의 위치 정보를 알

아내는 과정을 통합하여 지칭한다. 센서네트워크 환경 하에서 localization은 크게 두 가지 방식으로 분류된다. range-based 방식과 range-free based 방식이 그것이다. 첫 번째 것은 센서 노드들이 자신의 위치정보를 알아내는 과정에서 거리 또는 각도의 정보를 이용하여 위치를 추측하는 방식으로 위치의 정확도를 높일 수 있다는 장점을 가지고 있다. TDOA(Time Difference Of Arrival), TOA(Time Of Arrival), AOA(Angle Of Arrival) 등이 대표적이다. TDOA는 수신되는 신호의 시간차를 이용하여 거리 정보를 획득하는 방식이고¹⁾, TOA는 시간의 도착시간을 이용하는 것으로 GPS가 대표적이다²⁾. 마지막으로 AOA는 자신에게 도달하는 신호의 각도를 통하여 위치를 추측하는 방식이다³⁾⁴⁾. 그러나 일반적인 센서 노드들이 저가로 대량 생산되는 체제가 보편적인 센서 네트워크 환경에서는 센서 노드들의 단가가 올라간다는 단점을 가지고 있다. 이와는 반대로 range-free 방식은 거리와 각도 정보 없이 특정 알고리즘을 이용하여 자신의 위치를 알아내는 방식이다⁵⁾. 일반적으로 자신의 위치를 알고 있는 앵커 노드들을 이용하여 자신의 위치를 역으로 알아내는 방법이다. 이는 일반적으로 range-based 방식에 비해 위치 오차는 크지만 센서 네트워크 환경을 이루고 있는 센서 노드의 단가를 낮추는 관점에서는 적합하다고 할 수 있다. 본 논문에서는 거리 정보를 필요로 하지 않으면서도 위치의 정확도를 높일 수 있는 알고리즘을 제안하고자 한다. 일반적으로 센서 노드들이 헬기를 통하여 넓은 지역에 뿌려지는 것을 감안하여 헬기를 이용하여 localization을 수행하는 새로운 방식을 소개하고 이를 검증하도록 할 것이다. 센서 네트워크 환경이 앞서 설명한 것처럼 광활한 지역에 센서 노드들을 분포시키기 위해서 헬기나 기타 고정익 항공기를 이용하여 뿌려진다는 점을 활용하여 초기 항공기(헬기)의 선회 비행을 통해서 Localization을 수행 할 수 있음에 착안하였다.

II. Related Work

2.1 Mobile Anchor Node(Helicopter)

센서 네트워크는 크게 두 가지 노드들로 구성되어 있다. 앵커 노드와 센서 노드가 그것이다. 앵커 노드들은 일반적으로 자신의 위치 정보를 알고 있다. 즉, 노드 내에 특별한 장치(일반적으로 GPS 모듈)를 내장하고 있다. 따라서 어떤 곳에 뿌려지더라도 앵커 노드는 자신의 위치 정보를 다른 노드들의 도움없이 획득할 수 있다. 다

만 GPS 모듈 등 특별한 내부 구성품이 필요하므로 센서 노드들에 비해 고가이다. 이와는 반대로 센서 노드들은 자신의 위치를 다른 노드(일반적으로는 앵커 노드)의 위치 정보를 이용하여 추측하게 된다. 센서 네트워크 환경하에서는 앵커 노드의 수를 줄이면서 센서 노드들의 위치를 정확하게 알아내는 것이 커다란 이슈이다. 이는 수천 개 또는 수만개의 센서 노드들이 뿌려지는 환경에서 앵커 노드들의 수를 줄이면서도 위치 정확도를 높여야 비용대 효과면에서 유리하기 때문이다. 헬기는 내부 구성품으로 GPS를 장착하고 있다. 위치를 실시간으로 알수있고 움직일수 있다는 장점이 있다. 또한 고정익과는 다르게 저고도에서 저속으로 운용할 수 있으며 LOS(Line Of Sight)에 취약한 통신환경에서 센서 노드보다 높은 곳에 위치해 있기에 일반적으로 앵커 노드들이 지면에 위치하여 자신의 위치 정보를 broadcasting 하는 것보다 장애물에 유리하다.

2.2 Beacon Broadcasting

Beacon 신호는 주기적으로 센서 노드들에게 전달되어야 한다. Beacon 신호를 전파하는 주체인 헬기는 GPS 장비로부터 받은 자신의 위치 정보를 일정 시간 마다 Broadcasting 한다. 이를 수신한 센서 노드들은 헬기의 위치 정보(위도, 경도) 및 RSSI(Received Signal Strength Indicator) 값을 아래 표와 같은 형식으로 자신의 메모리에 저장한다.

헬기 위치(위도, 경도)	RSSI 값

2.3 RSSI(Received Signal Strength Indicator)

수신된 신호의 세기를 나타내는 지표로 이론적으로는 Fig. 1에서처럼 수신 거리의 제곱에 반비례한다. 센서 노드들은 앵커 노드들이 보내오는 Beacon 신호에서 앵커 노드의 위치 정보와 Beacon 신호의 RSSI값을 메모리에 저장한다. 이는 Localization을 수행하는데 필요한 정보로 이용된다. 이 값은 주변 환경의 영향을 크게 받는다.⁶⁾ 이로인해 전파의 방사가 완벽한 구(sphere)를 이루지 않으므로 그에 대한 고려 역시 필요하다. 물론 RSSI값을 획득하기 위해서는 추가적인 H/W 장치가 필요하다. 그러나 기술의 발전으로 저가의 다양한 H/W가 제공되고 있기 때문에 RSSI값을 획득하기 위한 추가 비용은 미비하다. 더욱이 본 논문에서는 RSSI값을 기존의 논문에

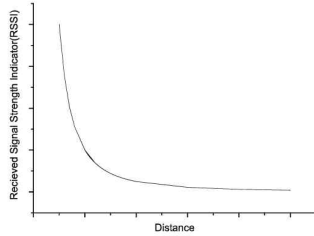


Fig. 1. 거리에 따른 RSSI 값

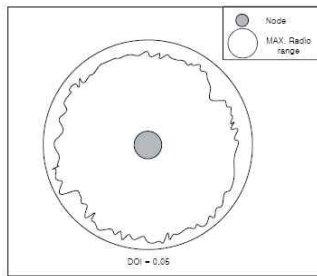


Fig. 2. DOI=0.05 경우

서처럼 거리를 역으로 추정하는데 사용하기 위함 이 아니라 동심원 상에 있는 다른 센서 노드를 찾기 위한 지표로 사용하였다.

2.4 DOI(Degree of Irregularity) 모델링

앞서 설명한 것처럼 실제로 전파의 방사 패턴 은 안테나 모양, 대기 환경 등의 영향으로 완벽 하게 구를 이루지 않는다. 이런 전파의 불규칙한 성질 때문에 이를 모델링하는 작업이 필요하다. DOI는 단위 각도에 대한 최대 전송 범위의 변화 율을 나타낸다. 본 논문에서는 일반적인 환경에 서의 DOI값에 속하는 0.05의 경우로 가정하였다. 시뮬레이션 환경에서도 이 값을 이용하여 실험을 진행하였다.

2.5 도형(원)의 기본 원리

현의 수직 이등분선의 원의 중심을 지난다. Fig. 3에서 보는 것처럼 한 원안에 있는 어떤 현

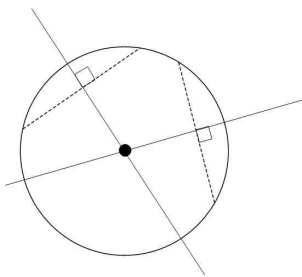


Fig. 3. 현의 수직이등분선

일지라도 그 현의 수직 이등분선은 원의 중심을 지난다. 본 논문에서는 이 기본 원리를 이용하여 센서 노드의 Localization을 수행하였다.

III. 기존의 알고리즘

Range-based 방식의 경우에는 그 동안 여러 가지가 제안되어 왔다. 그러나 특별한 하드웨어 가 장착되어야 하기에 본 논문에서는 다루지 않기로 하겠다. 여기서는 Range-free 방식에서 대 표적으로 쓰이고 있는 Centroid 방식과 APIT (Approximate Point in Triangle) 방식에 대해 살 펴보고 각 알고리즘이 가지고 있는 장점과 단점 에 대해서도 아울러 언급하고자 한다.

3.1 Centroid 방식

이 방식은 앵커 노드의 위치를 수신한 센서 노드들이 이 정보만을 가지고 자신의 위치를 판 단하는 가장 기본이 되는 range-free 방식의 알고 리즘이다. Fig. 4에서 보는 것처럼 앵커 노드들은 자신의 위치를 주변의 노드들에게 브로드캐스팅 한다. 이를 수신한 센서 노드들은 자신의 위치를 추측하기 위해서 아래와 같은 식으로 근사화 시 킨다. 즉, 수신한 앵커 노드들 중심의 평균으로 자신의 위치를 추측하는 방법이다.7)

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

where $(X_1, Y_1) \dots (X_k, Y_k)$: 수신된 앵커 노드 좌표

이 방식은 앵커 노드의 수가 많아서 센서 노 드들에게 참조 될 수 있는 정보의 수가 많을수록 정확도가 높아진다. 또한 앵커 노드의 통신 반경 이 작아서 중첩되는 영역의 크기가 작을수록 위

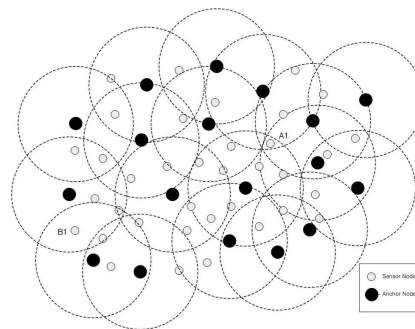


Fig. 4. Centroid Algorithm

치 오차의 값은 작아진다. 마지막으로 앵커 노드의 위치 역시 균일하게 분포되어야 전체적인 Localization 정확도가 향상된다. 한 부분에 앵커 노드의 위치가 밀집되고, 다른 부분에는 그렇지 않은 공간이 생긴다면 밀집된 공간 주변의 센서 노드들(Fig. 4에서 A1의 경우)의 정확도는 올라가겠지만, 앵커 노드의 위치 정보를 한, 두 개 밖에 수신하지 못한 센서 노드(Fig. 4에서 B1의 경우)의 위치 정확도는 현저하게 떨어질 수 밖에 없기 때문이다.

3.2 APIT(Approximate Point in Triangle) 방식

삼각형의 성질을 이용한 위치 추정방식이다. 각 센서 노드들은 자신의 위치 정보를 알아내기 위해 APIT테스트를 수행한다.8)

이는 Fig. 5에서 보는 것처럼 삼각형 내부에 있는 임의의 지점에서 어떠한 방향으로 이동하더라도(최종 이동 지점 역시 삼각형 내부) 세 꼭지점(A,B,C)에 전부 멀어지거나, 전부 가까워지는 현상이 발생할 수 없음을 이용하였다. 삼각형 내부와 외부 인지를 판별하고 중첩되는 영역을 찾음으로써 자신의 위치를 알아내는 방법이다. 삼각형을 그릴 수 있는 앵커 노드의 수가 많을수록 위치 정확도는 높아진다. 그러나 이 방식의 경우는 센서 노드들이 처리해야 하는 작업량이 크다는 단점이 있다. 즉, 각각의 센서 노드들은 위

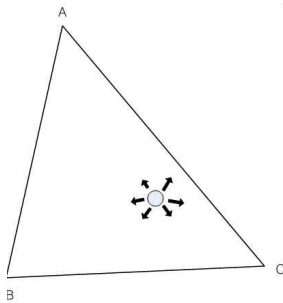


Fig. 5. APIT Test(예시)

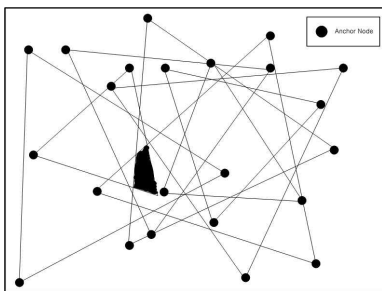


Fig. 6. APIT Algorithm

치 추정을 위해 많은 양의 데이터 처리(대부분 오버랩되는 영역 식별을 위한)가 필요하게 되고 이는 센서 노드들의 수명을 단축시킨다. 또한 이 방식은 edge effect로 인해 오차를 증가 시킬 수 있다. 즉 센서 노드들의 삼각형 내외부를 판단하기 위해 주변의 노드를 설정할 때 삼각형 변 주변에 있는 노드를 설정함으로써 내부와 외부 판단이 잘못될 소지가 있고, 이는 오차 증가 요인이 된다. Fig. 6에서 보는 것처럼 앵커 노드의 수가 많을수록 위치 추정을 위한 많은 삼각형을 그릴 수 있고 이런 삼각형의 중첩 영역을 찾음으로써 센서 노드의 Localization은 끝난다.

IV. 제안하는 알고리즘

기본 원리는 앞장에서 설명한 것과 같이 현의 수직이등분선을 이용하였다. Fig. 3에서 보는 것처럼 한 원안에 있는 모든 현의 수직 이등분선은 정확하게 원의 중심을 지난다. 이는 반대로 생각하여 원안에 있는 두 현을 찾게 되면 그 두 현의 교점을 이용하여 원의 중심을 찾을 수 있다는 것을 의미한다. 더불어 반드시 같은 원상의 두 현이 아닌 동심을 가진 원에서 각각 하나씩의 현을 찾게 되면 그 교점 역시 동심원의 중심을 지나게 될 것이라는 것을 이용하였다. 제안하는 알고리즘에서 단계별로 위치가 획득되는 과정은 다음과 같다.

4.1 1단계

Fig. 7에서처럼 헬기가 일정고도에서 순항하면서 비콘 신호를 Broadcast한다. 헬기에서 방사한 비콘 신호는 Fig. 7처럼 구(sphere)의 형태를 이룰 것이다. Fig. 8은 헬기가 방사하는 비콘 신호를 수신하는 노드들을 보여준다. 이 노드들은 헬기가 방사한 신호가 지면과 닿은 부분, 즉 단면인 원안에 있는 노드들이다. 헬기의 입장에서 보면 3차원의 위치 정보를 지상에 있는 노드들에게 전파하고 있는 상황이지만 센서 노드의 측면에서

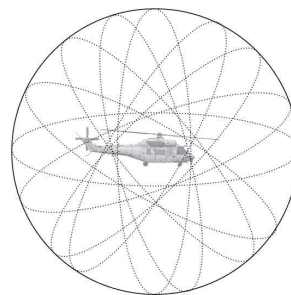


Fig. 7. 헬기의 비콘 방사

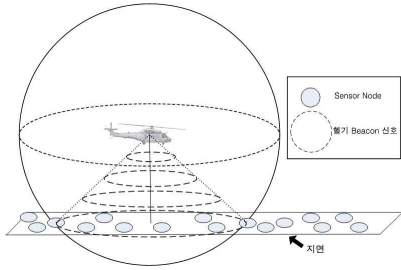


Fig. 8. 헬기 측면에서의 비콘 신호 방사

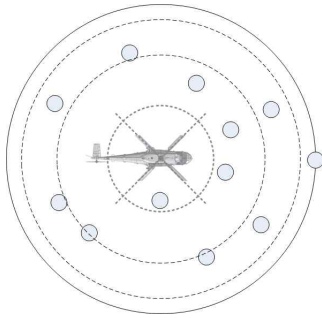


Fig. 9. 헬기 위에서 바라본 비콘 신호

보면 단순히 헬기의 중심을 지표면으로 수직 이동시켜 그곳에서 2차원적으로 위치 정보를 주변의 노드들에게 전파시키고 있는 상황인 것이다. Fig. 9는 헬기 위에서 바라본 비콘 신호를 수신한 영역을 표시한다. 이 안에 존재하는 센서 노드들은 헬기의 위치 정보와 RSSI 정보를 자신의 메모리에 저장한다. 각 센서 노드들은 이런 비콘 포인트를 최소한 3개를 가지고 있어야 자신의 위치를 추측할 수 있다. 따라서 모든 센서 노드들은 3개 이상이 될 때까지 헬기로부터 방사되는 비콘 신호를 자신의 메모리에 저장하면서 기다린다.

4.2 2단계

최소한으로 획득된 3개의 비콘 포인트들의 RSSI값을 비교한다. RSSI값이 같은 비콘 포인트는 동일원상에 존재하는 점으로 하나의 현을 만들 수 있음을 의미한다. 이렇게 동일 원상에 존재하는 3개의 비콘 포인트를 찾으면 Fig. 10에서 처럼 자신의 위치를 계산할 수 있다.

Fig. 10에서 보는 것처럼 가운데 센서 노드는 자신의 메모리에 헬기로부터 획득된 Beacon Point 정보를 저장하고 있다. Beacon Point에 대한 정보는 헬기의 위치와 RSSI값이다. RSSI값 비교를 통해서 A, B, C라는 하나의 원위에 존재하는 세 개의 점을 찾은 것이다. 아래의 식에서 L(AB)는 그림에서 A, B를 끝점으로 하는 현의 수직이등분선을 나타내며, L(BC)는 B, C를 끝점

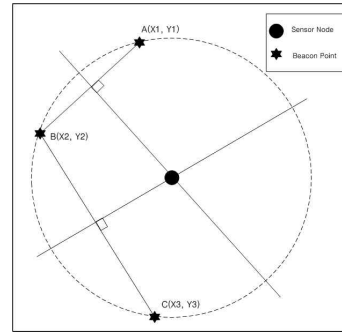


Fig. 10. 두 현을 이용한 위치 계산

으로 하는 현의 수직이등분선을 나타낸다. 이 두 현의 교점을 구함으로써 최종적으로 자신의 위치를 찾을 수 있는 것이다. 그러나 여기서 두 현이 평행한 관계에 있는지를 먼저 점검하고 계산할 필요가 있다. 즉, 두 현이 평행관계에 있다면 두 현은 교점이 생기는 것이 아니라 교선이 생기기 때문이다.

$$L(BC) = -\frac{(X2 - X3)}{(Y2 - Y3)} \times (X - \frac{(X2 + X3)}{2}) + \frac{(Y2 + Y3)}{2}$$

$$L(AB) = -\frac{(X1 - X2)}{(Y1 - Y2)} \times (X - \frac{(X1 + X2)}{2}) + \frac{(Y1 + Y2)}{2}$$

동일 원상에 존재하는 세 점을 못찾는 경우에는 Fig. 11을 이용할 수 있다. 즉, 같은 중심을 가지고 있는 원의 경우에는 반드시 동일 원상에 있는 두 개의 현을 찾을 필요 없이 Fig. 11과 같이 동심원상에 각각 하나씩의 현을 찾고 두 현의 수직이등분선의 교점을 구함으로써도 같은 결과를 얻을 수 있다. 이 과정에도 두 현의 관계가 평행인지 여부를 먼저 판단할 필요가 있다. 이런 2단계를 거치면서 모든 센서 노드들은 자신의 위치를 획득한다.

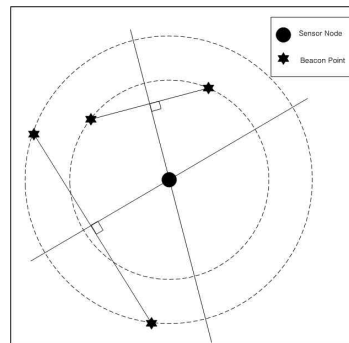


Fig. 11. 동심원상에 존재하는 두 현을 이용한 위치 계산

V. Performance Evaluation

본 장에서는 제안하는 알고리즘에 대한 성능을 평가하였다. 비교 대상 알고리즘으로는 앞장에서 설명한 Range-free 방식의 대표적인 Centroid 방식과 APIT으로 삼았다. APIT의 경우 Centroid 방식과 제안하는 알고리즘과는 다르게 센서 노드의 통신이 필요하며, 이 반경에 따라 위치 정확도가 달라진다. 따라서 APIT의 경우 제안하는 알고리즘과 비교시 센서 노드의 통신 반경을 달리한 시뮬레이션 결과까지 포함시켰다. 구현은 Visual C++ 6.0을 가지고 시뮬레이션하고 성능분석을 하였다.

5.1 시나리오

Fig. 12에서 보는 것처럼 500X500m²에서 센서 노드들을 랜덤하게 분포시켰다. 헬기는 위치 역시 시작점은 랜덤하게 정하였고, 모든 센서 노드들이 위치 정보를 획득할 때까지 이동하였다.

시험 파라미터 중에 하나인 Anchor node Radio Range는 Fig. 8에서처럼 헬기 수직지점(지면)으로부터의 Range를 의미한다. 이 Range 조절을 위해서 헬기의 운용 고도 등을 달리하여 시험하였다. 시뮬레이션 분석을 위하여 다음과 같은 측정 기준을 이용하였다.

- 평균위치 오차 : 계산을 통하여 얻어진 예상 좌표(X_{ei}, Y_{ei})와 실제 위치(X_i, Y_i)의 오차(N은 전체 노드 개수)

$$\text{평균위치오차} = \frac{\sum \sqrt{(X_{ei} - X_i)^2 + (Y_{ei} - Y_i)^2}}{N}$$

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

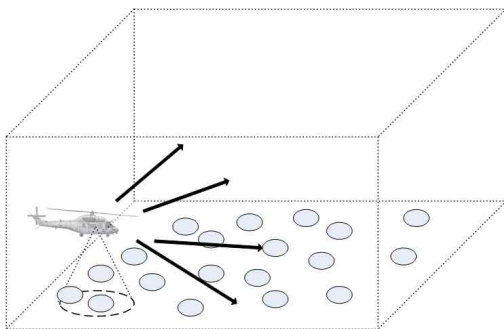


Fig. 12. 성능평가를 위한 시나리오

5.2 제안하는 알고리즘 성능평가

제안한 알고리즘의 성능 평가를 위해 Table 1과 같은 파라미터를 이용하였다.

시뮬레이션에서 기본 환경은 Anchor node range 60m, Node Radio Range 20m, Node Density 3000개로 정하였다. 여기서 Node Density는 센서 노드의 개수를 의미한다.

Fig. 13은 앵커 노드의 통신 반경에 따른 위치 오차를 보여준다. Centroid 방식은 앵커 노드의 커짐에 따라 오차도 같이 증가한다. APIT의 경우에는 일정 구간까지는 오차가 감소한다. 이는 앵커 노드의 통신 반경이 커질수록 센서 노드 입장에서 더 많은 삼각형을 그릴 수 있기 때문이다. 즉, 위치를 참조 할 수 있는 앵커노드가 많아

Table 1. 파라미터 값

Parameter	Value				
Anchor Radio Range(m)	40	60	80	100	120
Node Radio Range(m)	15	20	25	30	35
Node Density	150	200	250	300	350
	0	0	0	0	0

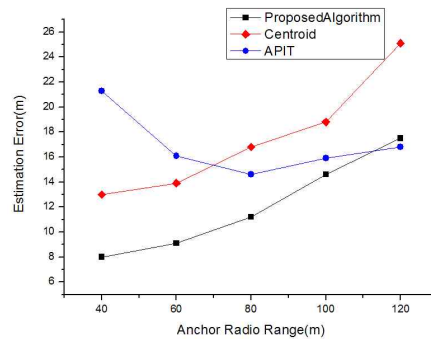


Fig. 13. 앵커의 통신 반경에 따른 위치 오차

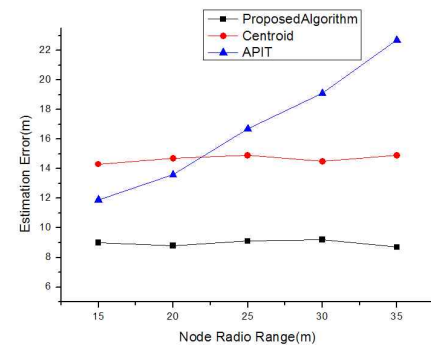


Fig. 14. 센서 노드의 통신반경에 따른 위치 오차

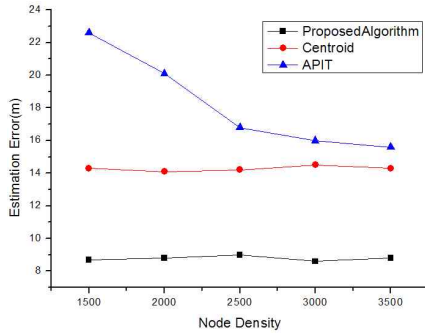


Fig. 15. 센서 노드 개수에 따른 위치 오차

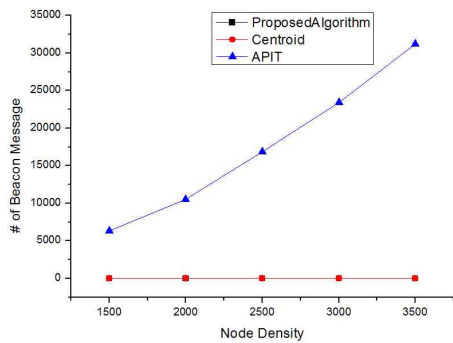


Fig. 16. 센서 노드 개수에 따른 통신 overhead

짐을 의미한다. 그러나 Edge Effect로 인해 위치 오차가 다시 증가하는 경향을 보인다.

Fig. 14는 노드의 통신 반경에 따른 결과이다. 제안하는 알고리즘과 Centroid 방식은 센서 노드의 통신이 Localization 과정에서 필요없기 때문에 전구간에 걸쳐 고른 오차값을 보이고 있다. APIT의 경우 노드의 통신 반경이 커질수록 Edge Effect가 발생할 소지가 많기 때문에 오차도 같이 증가한다. 그림에서 보는 것처럼 제안하는 알고리즘이 가장 작은 오차를 보이고 있다.

Fig. 15는 노드의 밀도에 따른 위치 오차 결과이다. 제안하는 알고리즘과 Centroid 방식의 경우 노드의 밀도에 영향을 받지 않는다. APIT의 경우에는 센서 노드의 밀도가 높아야 삼각형의 내·외부 판단시 참조 할 수 있는 경우의 수가 많아지기 때문에 위치 오차값이 작아진다. 그러나 모든 구간에 걸쳐 제안하는 알고리즘의 오차가 가장 작게 나타났다.

Fig. 16은 센서 노드 밀도에 따른 통신 오버헤드를 보여준다. 제안하는 알고리즘과 Centroid 방식은 센서 노드들끼리 통신이 필요없기 때문에 에너지 효율면에서 APIT보다 월등히 좋은 결과를 보여준다.

VI. 결 론

본 논문에서는 헬기를 이용한 위치 인식 알고리즘을 제안하였다. 기존에 제안되었던 대부분의 range-free 방식의 경우에는 자신의 위치를 알기 위해 센서 노드간의 통신이 필요했고 이는 에너지 소모 등의 문제를 야기했다. 제안하는 방식의 경우에는 헬기를 이용하여 위치 인식을 하기 때문에 장애물에 대한 영향을 줄일 수 있다. 또한 센서 노드간의 통신이 필요 없고 Centroid, APIT 방식 보다 높은 정밀도를 시뮬레이션을 통해 알 수 있었다.

시뮬레이션 환경은 앵커 노드의 통신 반경, 센서 노드의 개수, 센서 노드의 통신반경을 변화시키면서 알고리즘의 성능을 비교하였다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 비교 대상인 Centroid와 APIT 방식보다 위치 정확도를 높일 수 있음을 보였다.

참고문헌

- 1) N. B. Priyantha, A. Chakraborty, and H. Balakrishnan, "The cricket location-support system", in Proc. ACM Int. Conf. Mobile Computing Networking(MIBICOM), Boston, MA, Aug. 2000, pp. 32-43.
- 2) J. Caffery Jr. and G. L. Stuer, "Subscriber Location in CDMA cellular networks", IEEE Trans. Veh. Technol., Vol. 47, pp. 406-416, May 1998.
- 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. Adelzaher, "Range-free localization schemes for large scale sensor networks", in Proc. Of ACM Mobicom, San Diego, CA, Sept. 2003.