

모바일 비콘을 이용한 해양 센서 네트워크의 위치 파악 기법

이상호¹, 김은찬¹, 김청산¹, 김기선¹, 최영윤^{2*}

Localization Scheme with Mobile Beacons in Ocean Sensor Networks

Sang-Ho Lee¹, Eun-Chan Kim¹, Chung-San Kim¹, Ki-Seon Kim¹
and Yeong-Yoon Choi^{2*}

요약 센서 네트워크 기술은 다양한 분야에서의 적용이 기대되는 크게 각광받고 있는 기술이다. 지금까지는 바다 환경의 감시 및 조사를 위해서 인간이 직접 바다 가운데로 나아가야 했지만, 센서 네트워크 기술은 인간의 활동을 센서 노드들이 대체하게 되어 바다 환경을 연구하기가 더욱 용이하게 만들 것이다. 해양 센서 네트워크 기술에서 가장 중요한 부분 중의 하나가 위치 파악 기술이다. 센서를 통해서 여러 가지 정보를 얻더라도 위치를 모른다면 그 정보들은 무의미한 정보가 된다. 위치 파악 기술은 최근 수년간 활발히 연구되어 왔지만 대부분 센서 노드가 지상에 있을 때의 위치 파악 기법이기에 때문에 해양 환경에서의 적용은 어려움이 있을 수 있다. 해양 환경에서는 모바일 비콘을 이용한 위치 파악 기법이 효율적인 방법이 될 수 있다. 모바일 비콘을 이용한 Ssu의 위치 파악 기법은 거리나 각(Angle) 정보를 위한 추가적인 하드웨어가 필요하지 않아 저렴한 센서 노드의 제작에 도움이 된다. 또한 위치 파악에의 정확성과 확장성과 에너지 효율성을 보여주고 있다. 하지만 노드의 위치 파악에 사용되는 절대적인 위치 정보 사이의 최소 거리가 가까울수록 위치 에러가 커지는 문제점을 가지고 있다. 이 문제를 해결하기 위해서, 본 논문은 Geometric constraints 을 이용하여 노드가 있을 예상 영역을 구하여 노드의 위치를 파악하는 기법을 제안한다.

Abstract Recently, sensor network technology is a highly concerned area due to the expectation of many applications in various fields. The application of sensor network technology to the marine and ocean surveillance and investigation makes the marine environmental research easier since intelligent sensor nodes substitute the human labor work. In ocean sensor network, the localization scheme for the sensor nodes is most essential because all the information without from sensor nodes might be useless unless the positional information of each sensor nodes is provided. In this paper, the localization scheme with mobile beacons in ocean sensor networks is suggested and showed it could be effective for applying to marine circumstances. Even though the previous localization scheme(Ssu's) has advantages that additional hardware is not required for obtaining the information of distance and angle and shows the high accuracy of location and energy efficiency and easy expandability as well, it has also demerits the location error increases as the minimum distance between the absolute positional information become closer. In our works, the improved localization scheme with the presumed area of sensor node using geometric constraints is suggested.

Key Words : Ocean Sensor Networks, Mobile Beacons, Localization Scheme, Geometric Constraints

1. 서론

가까운 미래에 하드웨어와 통신 기술의 발달은 센싱, 데이터 처리, 무선 통신 능력을 갖춘 무선 센서 네트워크

를 가능하게 할 것이다. 무선 센서 네트워크는 제한적인 센싱 영역과 데이터 처리 능력과 전력을 가진 다수의 센서 노드가 임의로 분포되어 서로 간 통신 채널을 형성한 네트워크를 말한다 [1]. 무선 센서 네트워크는 개별적인 센서 노드에 장착된 센서 종류에 따라 군사적 목적이나 환경 감시, 목표물의 감시와 추적, 건물 혹은 특정 공간의 안전을 관리하거나 교통량을 측정하는 등의 다양한 응용

¹광주과학기술원

²육군사관학교 전자정보학과

*교신저자 : 최영윤(ychoi@kma.ac.kr)

분야를 가지고 있다 [2].

특히 사람의 접근이 용이하지 않거나 위험한 환경에서의 무선 센서 네트워크의 필요성이 점점 대두되고 있다. 그런 환경 중 대표적인 것이 해양 환경이다. 인류는 지구의 2/3를 뒤덮고 있는 바다를 역사 이래로 끊임없이 연구해 오고 있지만, 인간이 직접 조사를 하기에는 높은 수압, 광대한 지역 등의 이유로 쉽지 않은 것이 현실이다. 이런 상황에서 무선 센서 네트워크는 해양 환경 연구에 새로운 기회이자 돌파구가 될 수 있다. 수많은 센서들은 스스로 네트워크를 형성하고, 주변 환경을 센싱해서 그 정보들을 모니터링 센터로 전송함으로써, 인간의 접근을 통한 직접적인 조사가 없이도 해양 환경의 지속적이고 정확한 연구를 가능하게 한다. 간단한 예로 부표에 센서들을 설치하여 부표 주변의 온도, 해수의 흐름, 풍향, 풍속, 오염 정도 등의 정보를 얻을 수 있다 [3].

그런데 해양 환경의 응용 분야를 포함한 대부분의 응용 분야에서는 센서 노드의 위치 정보를 기반으로 관리, 감시를 하기 때문에 위치 정보를 포함하지 않는 정보는 무의미한 정보가 된다. 따라서 센서 노드의 위치 정보는 무선 센서 네트워크의 초기화 단계에 반드시 파악되어야 한다. 특히 해양 환경에서는 센서 노드를 한 위치에 고정시키는 것이 힘들고, 부표 같은 곳에 센서를 설치하더라도 해수의 흐름에 따른 부표의 움직임으로 센서의 위치 역시 계속 변하기 때문에 초기화 단계 뿐 아니라 지속적으로 센서 노드의 위치를 파악하는 것이 중요하다.

센서 네트워크에서 위치 파악 기법들은 일반적으로 GPS 의 도움으로 절대적인 위치를 알고 있는 비콘 노드를 사용해서 위치를 모르는 노드들의 위치를 파악한다. 하지만, 해양 환경에서는 이런 접근 방법이 적절하지 않을 수 있다. 왜냐하면 해양 환경에서는 센서 네트워크의 초기화 단계뿐만 아니라 지속적으로 센서 노드의 위치를 파악해야 하는데, 비콘 노드의 GPS 가 파워 부족으로 동작하지 않게 될 경우 비콘 노드를 재설치 하는 것이 용이하지 않기 때문이다. 이런 이유로 해양 환경에서는 모바일 비콘을 이용한 위치 파악 기법이 필요하게 된다.

Sichitiu가 제안한 위치 파악 기법은 모바일 비콘으로부터 받은 비콘(자신의 위치) 주변에 센서 노드가 있다는 사실과 received signal strength indicator(RSSI) 기술을 이용하여 센서 노드의 위치를 파악한다 [4]. Sun은 모바일 비콘을 이용한 확률적인 위치 파악 기법을 제안했다. 거리 측정을 위해서는 time of arrival(TOA) 기술을 이용하고, 이후 확률밀도함수를 이용하여 센서 노드의 위치를 파악한다 [5]. Dutta가 제안한 기법은 초음파 기술과 공통 접선 개념을 이용하여 센서 노드와 모바일 비콘 사이의 거리를 구하고, 이 정보를 바탕으로 노드와 노드 사이의

거리를 구한 후 센서 노드의 위치를 파악한다 [6].

Ssu가 제안한 모바일 비콘 노드를 이용한 위치 파악 기법은 앞에서 설명한 기법들과는 다르게 거리나 각 정보 없이도 센서 노드의 위치를 파악할 수 있고, 거리나 각 정보를 이용한 기법들과 비슷한 수준으로 센서 노드의 위치를 파악할 수 있다. 거리나 각 정보를 이용하지 않기 때문에 거리나 각 정보 측정을 위한 추가적인 하드웨어가 필요하지 않기 때문에 센서 노드의 에너지 효율 면에서는 다른 기법들보다 뛰어난 장점을 가진다 [7]. 또한 간단한 계산으로 위치 파악이 가능하다는 장점도 있다. 모바일 비콘이 모니터링 지역을 움직이면서 일정한 거리를 이동할 때마다 자신의 위치 정보(비콘 메시지)를 브로드캐스팅 하면, 각 센서 노드는 수신한 비콘 메시지를 이용해서 자신의 위치를 파악한다.

그러나 Ssu의 기법은 위치 계산에 사용되는 3개의 비콘 메시지의 위치 정보들 사이의 최소 거리가 짧을 때 위치 파악 에러가 급격히 커지는 문제점이 있다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위하여 우리는 Geometric constraints 를 이용한 위치 파악 기법으로 위치 에러를 줄이고자 한다. Geometric constraints 는 비콘 메시지의 위치 정보를 기준으로 센서 노드가 있는 영역을 어떤 조건을 만족하는 영역으로 제한할 수 있음을 의미하고, 위치 계산에 사용되는 비콘 메시지의 수가 늘어남에 따라 예상 영역을 더 좁힐 수 있다. 노드가 있을 예상 영역을 찾고, 그 영역 안에서 노드의 위치를 찾기 때문에, 노드의 위치를 Ssu의 기법보다 정확하게 파악할 수 있다.

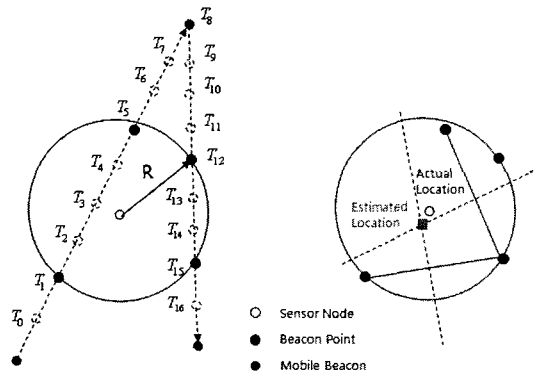
2. 관련 연구

해양 환경에서의 센서 네트워크의 디자인은 전통적인 센서 네트워크와는 여러 가지 면에서 차이를 보인다. 채널 환경이 다를 뿐 아니라 센서 노드들의 위치가 고정되어 있지 않다는 점에서 센서 노드의 위치를 파악하는 기법에 있어서도 다른 접근을 필요로 한다. 기존의 다양한 위치 파악 기법을 바탕으로 제한된 채널 환경, 센서 노드의 이동성 등을 고려한 다양한 위치 파악 기법이 연구 중에 있다 [8].

Ssu의 기법에서는 정적인 비콘 노드들이 아닌 모바일 비콘 노드를 사용한다. 모바일 비콘은 이동하거나 비콘 메시지를 전송하기에 충분한 에너지가 공급되며, 스스로 움직이거나 로봇 같은 이동장치의 도움으로 움직일 수 있다고 가정한다. 해양 환경에서는 배의 도움으로 움직이면서 통신할 수 있다. 모바일 비콘은 임의의 도착점을 정한 후 그 지점까지 직선으로 이동하고, 또 다른 도착점을

정한 후 그 지점까지 직선으로 이동하는 방식으로 움직인다고 가정한다 [9]. 모바일 비콘은 임의로 분포된 센서 노드 주위를 움직이면서 일정한 거리마다 현재 자신의 위치 정보가 포함된 비콘 메시지를 브로드캐스팅 하고, 각 센서 노드는 위치 정보를 포함하고 있는 비콘 메시지들을 수신하여 자신의 위치를 파악한다. 센서 노드의 경우, 모바일 비콘으로부터 비콘 메시지들을 수신만 하기 때문에 센서 노드들 사이의 통신이 이루어지는 다른 위치 파악 기법보다 통신량을 줄일 수 있는 장점이 있다.

Ssu의 기법은 두 단계로 구성되어 있다.



(a) 비콘 포인트 선택 (b) 센서 노드의 위치 계산
 그림 1. Ssu의 위치 파악 기법

첫 번째 단계는 수신한 비콘 메시지 중 센서 노드에서 모바일 비콘과의 통신 거리만큼 떨어져 있는 비콘 메시지의 위치(비콘 포인트)를 찾는 것이다. 센서 노드가 모바일 비콘으로부터 처음으로 비콘 메시지를 받으면, 처음으로 모바일 비콘이 센서 노드의 통신 거리 안으로 들어온 것이기 때문에 그 비콘 메시지의 위치는 센서 노드에서 통신 거리만큼 떨어진 위치에 있게 되고, 그 위치가 비콘 포인트가 된다. 그림 1(a)에서 T_1, T_{12} 가 비콘 포인트가 된다. 그리고 센서 노드가 마지막 비콘 메시지를 받은 후 정해진 시간 동안 아무런 메시지를 받지 못하면 마지막 비콘 메시지의 위치 역시 센서 노드에서 통신 거리만큼 떨어진 위치에 있게 되고, 그 위치가 비콘 포인트가 된다. 그림 1(a)에서 T_5, T_{15} 가 비콘 포인트가 된다. 따라서 비콘 포인트와 센서 노드 사이의 거리는 모바일 비콘과 센서 노드 사이의 통신 거리와 같다. 하지만, 모바일 노드가 비콘 메시지를 일정한 거리, 즉 비콘 간격만큼의 거리를 움직일 때마다 브로드캐스팅하기 때문에, 비콘 포인트와 센서 노드 사이의 거리는 정확하게 통신 거리가 되지 않을 수 있다. 이것이 센서 노드의 위치 파악에 있어 에러를 일으키는 요인이 된다.

두 번째 단계는 그림 1(b)와 같이 비콘 포인트의 위치 정보를 통해서 센서 노드의 위치를 계산하는 것이다. 위치 계산은 원에서 두 현의 수직이등분선의 교점이 원의 중심을 지나간다는 기하학적인 성질을 이용한다. 3개의 비콘 포인트로부터 두 개의 현을 구할 수 있고, 두 현의 수직 이등분선을 구할 수 있다. 이 때 센서 노드의 위치는 두 현의 수직 이등분선의 교점이 된다.

3. Geometric Constraints를 이용한 위치 파악 기법

1) 문제 제시

Ssu의 위치 파악 기법이 상당히 정확한 위치 파악을 가능하게 하지만, 3개의 비콘 포인트 사이의 최소 거리가 짧을 때 큰 위치 파악 에러를 일으키는 문제가 있다. 비콘 포인트 사이의 최소 거리가 짧으면 짧을수록, 두 현의 수직이등분선의 교차점이 센서 노드에서 크게 벗어나 위치 파악 에러가 생길 확률은 커지게 된다. 최악의 경우 3개의 비콘 포인트가 일직선 위에 위치하게 되면, 센서 노드의 위치를 파악하지 못 하는 경우도 생기게 된다. 이 문제를 해결하기 위해서, Ssu의 기법에서는 비콘 포인트가 세 개 이상인 경우, 비콘 포인트 사이의 최소 거리가 가능하면 크게 되도록 3개의 비콘 포인트를 선택한다. 그럼으로써 위치 파악 에러는 줄일 수 있지만, 더 많은 비콘 메시지를 수신 해야만 하기 때문에 더 많은 전력을 소비하게 하는 문제점이 발생한다.

2) 위치 파악 기법 제한

Ssu의 위치 파악 기법의 문제점을 해결하기 위해서 제안하는 기법은 geometric constraints을 이용한 위치 파악 기법이다. 센서 노드가 있을 예상 영역을 먼저 구하고, 이 영역 내에서 노드의 위치를 계산함으로써 Ssu의 기법처럼 위치 에러가 크게 증가하는 문제를 해결할 수 있다.

비콘 포인트와 센서 노드 사이의 거리가 정확하게 센서 노드의 모바일 비콘과의 통신 거리와 같다면 센서 노드의 위치를 정확하게 파악할 수 있지만, 실제 센서 네트워크 환경에서는 비콘 메시지 간격으로 인해서 비콘 포인트와 센서 노드 사이의 거리가 센서 노드의 통신 거리와 정확하게 일치하지 않는다. 이로 인해서 센서 노드가 파악한 자신의 위치에 에러가 발생한다. 따라서 모바일 비콘과 센서 노드 사이의 통신 거리를 R , 비콘 간격을 d 라고 하면, 비콘 포인트와 센서 노드 사이의 거리 r 은 아래와 같이 정의된다.

$$R - d < r < R \quad (1)$$

식(1)이 센서 노드의 위치를 파악하기 위해서 사용될 Geometric constraint 가 되고, 이 조건에 따르면 하나의 비콘 포인트에서 R-d, R을 반지름으로 하는 두 원이 만드는 링 영역 안에 노드가 위치함을 알 수 있다. 센서 노드의 위치를 구하기 위해 3개의 비콘 포인트가 필요하기 때문에 결과적으로 3개의 링이 그림 2와 같이 그려지고, 센서 노드는 3개의 링이 교차하는 영역 내에 위치함을 예상할 수 있다.

센서 노드가 교차 영역 내에 존재하므로, 교차 영역의 꼭지점의 중점을 센서 노드의 위치로 정한다. 3개의 링이 교차 하는 영역의 꼭지점을 구하는 방법은 다음과 같다. 먼저 그림 2의 2개의 비콘 포인트 b1, b2 를 선택하고 각 비콘 포인트로부터 그려지는 링의 교차점을 구한다. 이 교차점들 중에서 세 번째 비콘 포인트에서 구해진 링 안에 있는 점을 선택하면, 다시 말해서 세 번째 비콘 포인트에서의 거리가 R-d, R 사이에 있는 점을 선택하면 그 점들이 3개의 링의 교차 영역의 꼭지점 중 일부가 된다. 다른 두 경우 (그림 2에서 b2, b3 와 b3, b1) 에서도 위와 동일한 방식으로 3개의 링의 교차점 모두를 구할 수 있다. 결과적으로 센서 노드의 위치는 아래의 식과 같이 3개의 링의 교차 영역의 꼭지점들 (X_i, Y_i) 의 평균값으로 정한다.

$$\hat{x} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k x_i, \quad \hat{y} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k y_i \quad (2)$$

여기서 k는 세 링의 교차영역의 꼭지점 개수이다.

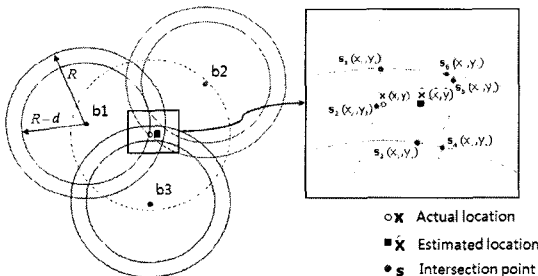


그림 2. Geometric Constraints를 이용한 센서 노드 위치 파악

4. 성능 평가

시뮬레이션 툴로는 Matlab 7.0을 사용하여 제안한 위치 파악 기법의 성능을 Ssu의 기법과 비교, 평가한다. 시

뮬레이션 환경은 다음과 같다. 일반적으로 해양 센서 네트워크에서 센서 노드들은 해수의 흐름에 의해서 다른 곳으로 흘러 가 버리지 않도록 부표 위나 닻을 이용해 고정해 놓지만, 해수에 의해서 그 위치가 계속해서 변하기 때문에 임의로 분포되어 있다고 볼 수 있다. 따라서 100 X 100 m² 면적에 300 개의 센서 노드가 임의로 분포되어 있다고 가정한다. 앞에서 언급했듯이, 모바일 비콘은 임의로 움직이되, 직선 형태의 움직임을 취하고, 1m 간격으로 자신의 절대 위치를 브로드캐스팅하며, 패킷 최대 도달 거리는 20m이다.

위치 파악 에러는 일반적으로 비콘 포인트들 사이의 최소 거리에 영향을 받으며 최소 거리가 짧을수록 에러가 커지게 된다. 따라서 본 시뮬레이션에서는 비콘 포인트 사이의 최소 거리의 변화에 따른 위치 파악 에러를 확인하였다. 우선 Ssu의 기법과 제안한 기법의 성능을 평가하기 위해, 정량적 위치 에러 값을 아래 식과 같이 N 개의 센서 노드의 실제 위치 (X_i, Y_i) 와 계산된 위치 (\hat{x}_i, \hat{y}_i) 와의 거리 오차의 평균으로 정의하였다.

$$\text{평균 위치 에러} = \frac{\sum \sqrt{(\hat{x}_i - x_i)^2 + (\hat{y}_i - y_i)^2}}{N} \quad (3)$$

그림 3은 비콘 포인트 사이의 최소 거리에 따른 평균 위치 에러를 통해서 Ssu의 기법과 제안한 기법의 센서 노드의 위치 파악 정확도를 보여준다. 두 위치 파악 기법 모두 비콘 포인트 사이의 최소 거리가 클수록 위치 파악 에러가 줄어들고 약 0.3m ~ 0.4m 정도의 위치 파악 에러로 수렴함을 알 수 있다. Ssu의 기법에서는 비콘 포인트 사이의 최소 거리가 4m미만일 때 에러가 약 28m가 될 정도로 위치 파악의 정확도가 떨어짐을 알 수 있다. 반면 제안한 기법의 경우, 최소 거리가 4m미만일 때 5m로 Ssu의 기법보다 위치 정확도가 향상되었음을 확인할 수 있다. 이것은 제안한 기법이 geometric constraint를 이용하여 센서 노드가 있을 예상 영역을 먼저 구한 후, 그 영역 안에서 센서 노드의 위치를 파악하기 때문이다. 위치 파악 에러 측면에서 볼 때, 제안한 기법은 Ssu의 기법과 비교하여 약 18% 에서 82% 의 성능 개선을 보인다. 그림 3에서 알 수 있듯이, 위치 파악 에러를 줄이기 위해서는 가능한 비콘 포인트 사이의 최소 거리가 길게 되는 비콘 포인트를 선택하는 것이 좋다. 하지만, 이를 위해 센서 노드는 모바일 비콘으로부터 더 많은 비콘 메시지를 수신해야 하고, 이것은 센서 노드가 자신의 위치 파악을 위해서 더 많은 에너지를 소비해야 함을 의미한다. Ssu의 기법에서는 0.5m 이내의 정확한 위치 파악을 위해서는 비콘 포인트 사이의 최소 거리가 16m 이상이 되어야 하는

데, 제안한 기법에서는 비콘 포인트 사이의 최소 거리가 약 4m이상만 되면 0.5m이내의 정확한 위치 파악이 가능함을 확인할 수 있다. 따라서, 제안한 기법은 0.5m 정도의 위치 파악 정확도를 얻으려고 할 때, Ssu의 기법과 비교하여 더 적은 비콘 메시지를 수신하여도 가능하기 때문에 각 센서 노드의 에너지 소비를 줄일 수 있다.

그림 4에서 두 위치 파악 기법의 위치 파악 정확도를 시각적으로 확인해 볼 수 있는 그림으로써, 왼은 센서 노드의 위치를 의미하고 직선은 센서 노드의 위치 파악에 있어서 에러 정도를 의미한다. 그림 4에서 볼 수 있듯이 Ssu의 기법은 굉장히 큰 에러가 발생하는 센서 노드들이 일부 있음을 볼 수 있고, 제안한 기법은 전체적으로 에러 정도가 크지 않음을 볼 수 있다. 두 기법의 비교를 통해서 제안한 기법은 *geometric constraints*를 사용하여 Ssu의 기법에서의 큰 에러 발생을 방지하여 전체적으로 에러를 상당히 줄였음을 확인할 수 있다.

시뮬레이션 결과에 따르면, 제안한 기법이 Ssu의 기법보다 위치 파악 정보에 있어 정확도가 뛰어나고 수신하는 메시지를 줄일 수 있기 때문에 전력 소비 면에서도 효율적임을 확인할 수 있다.

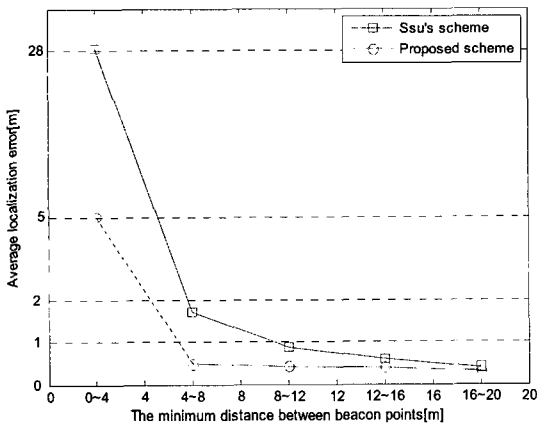


그림 3. 비콘 포인트 사이의 최소 거리에 따른 위치 파악 에러

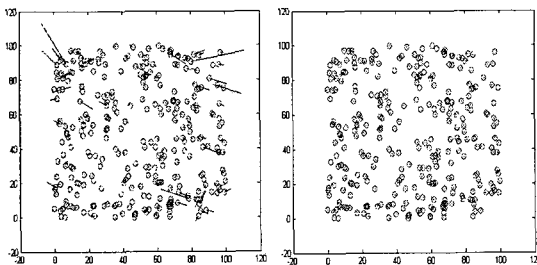


그림 4. 두 위치 파악 기법의 위치 파악 에러

5. 결론

우리는 해양 센서 네트워크에서 모바일 비콘을 이용하여 센서 노드의 위치를 파악하는 기법을 살펴보았다. 해양 센서 네트워크에서 센서 노드의 위치는 다른 무엇보다도 기본적으로 제공되어야 하는 정보이기 때문에 위치 파악 기술은 필수적이다. 위치 파악 기법에 있어, 모바일 비콘을 이용한 위치 파악 기법은 다수의 비콘 메시지 덕분에 보다 정확한 위치 파악이 가능할 뿐만 아니라, 센서 노드들 사이의 통신이 필요하지 않아서 전력 소비를 줄일 수 있는 장점이 있다. 그러나 Ssu의 기법에서는 비콘 포인트 사이의 최소 거리에 따라 위치 파악 에러가 크게 영향을 받는 단점이 있다.

제안한 기법은 센서 노드가 있을 예상 영역을 먼저 구한 후 그 영역의 중심점으로 노드의 위치를 파악하기 때문에, Ssu의 기법보다 적은 통신량으로도 위치 파악 에러를 줄일 수 있다. 반면에 제안한 기법은 Ssu의 기법에 비해서 예상 영역을 구하기 위한 계산량이 많다는 단점을 가지고 있다. 그러나 계산을 위해서 사용되는 에너지가 통신을 위해 사용되는 에너지에 비해 상당히 적다는 점을 감안할 때, 제안한 위치 파악 기법이 적은 통신으로도 더 정확한 위치 파악이 가능하다는 점에서 Ssu의 기법보다 뛰어나다 하겠다.

본 논문에서는 모바일 비콘이 충분한 에너지를 가진다고 가정하였지만, 실제 환경에서는 비용의 문제를 고려해야 한다. 예를 들어 배의 도움으로 모바일 비콘이 움직인다면, 배가 어떤 경로로 움직이느냐가 비용면에서 중요한 이슈가 될 수 있다. 센서 노드의 위치 파악의 정확도를 비슷하게 유지하면서도 모바일의 이동 거리를 최소화 할 수 있는 방법을 찾는 것은 더 연구해야 할 부분이다.

참고 문헌

- [1] M. Tubaishat and S. Madria, "Sensor Networks: An Overview", *IEEE Potentials*, vol 22, no. 2, pp. 20-23, April-May, 2003.
- [2] C. Y. Chong and S. P. Kumar, "Sensor Networks: Evolution, Opportunities, and Challenges", *Proc. of IEEE*, vol. 91, no. 8, pp. 1247-1256, August, 2003.
- [3] J. H. Cui, et al., "The Challenges of Building Scalable Mobile Underwater Wireless Sensor Networks for Aquatic Applications", *IEEE Network*, vol 20, no 3, pp. 12-18, May-June, 2006.
- [4] M. L. Sichitiu and V. Ramadurai, "Localization of

wireless sensor networks with a mobile beacon", Proc. Mobile Ad-hoc and Sensor Systems, pp. 174-183, October, 2004.

- [5] G. L. Sun and W. Guo, "Comparison of distributed localization algorithms for sensor network with a mobile beacon", Proc. IEEE Int. Conf. Networking, Sensing and Control (ICNSC), vol. 1 pp. 536-540, March, 2004.
- [6] P. Dutta and S. Bergbreiter, "MobiLoc: Mobility enhanced localization", U.C. Berkeley Networked Embedded Systems Technology (NEST) Retreat, January, 2004.
- [7] K. F. Ssu, C. H. Ou, and H. C. Jiau, "Localization with mobile anchor points in wireless sensor networks", IEEE Transaction on Vehicular Technology, vol. 54, no. 3, pp. 1187-1197, May, 2005.
- [8] J. E. Garcia, K. Kyamakya, and K. Jobmann, "Ad-hoc positioning for Ocean Sensor Networks", Proc. IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference (IMTC), vol 2, pp. 1317-1321, May, 2004.
- [9] J. Broch, et al., "A performance comparison of multi-hop wireless ad hoc network routing protocols", Proc. ACM Int. Conf. Mobile Computing Networking(MOBICOM), pp. 85-97, October, 1998.
- [10] I. F. Akyildiz, D. Pompili, and T. Melodia, "Underwater acoustic sensor networks: research challenges", Ad Hoc Networks (Elsevier), vol. 3, no. 3, pp. 257-279, March, 2005.
- [11] N. Bulusu, et al., "GPS-less Low Cost Outdoor Localization for Very Small Devices", IEEE Personal Communications Magazine, vol. 7, no. 5, pp. 28-34, 2000.

이 상 호(Sang-Ho Lee)

[정회원]



- 고려대학교 전기전자전파공학부 졸업(공학사)
- 광주과학기술원 정보통신공학과 석사(공학석사)
- 현재 광주과학기술원 정보통신공학과 박사과정(공학박사)

<관심분야 >

센서 네트워크 및 이동통신 전공

김 은 찬(Eun-Chan Kim)

[정회원]



- 숭실대학교 정보통신공학과 졸업(공학사)
- 광주과학기술원 정보통신공학과 석사(공학석사)
- 현재 광주과학기술원 정보통신공학과 박사과정

<관심분야>

센서 네트워크 및 이동통신 전공

김 청 산(Chung-San Kim)

[정회원]



- 전남대학교 전자공학과 학사 졸업(공학사)
- 광주과학기술원 정보통신공학과 석사(공학석사)
- 현재 광주과학기술원 정보통신공학과 박사과정

<관심분야>

센서 네트워크 및 이동통신 전공

김 기 선(Ki-Seon Kim)

[정회원]



- 서울대학교 전자공학과 학사 졸업(공학석사)
- 서울대학교 전자공학과 석사 졸업(공학석사)
- 미국 남가주대학 전기전자과 박사(공학박사)
- 현재 광주과학기술원 정보통신공학과 교수

<관심분야>

통신시스템 및 구현

최 영 윤(Yeong-Yoon Choi)

[정회원]



- 육군사관학교 전자공학과 학사 졸업
- 미국 남가주대학 전자공학 석사
- 미국 남가주대학 전자공학 박사
- 현 육군사관학교 전자정보학과 교수

<관심분야>

군 전술종합정보통신체계, 무선데이터통신