ToA 기법을 이용한 수중 무선 센서 네트워크에서의 센서 위치 측정

ToA Based Sensor Localization Algorithm in Underwater Wireless Sensor Networks

이 강 훈, 유 창 호, 최 재 원*, 서 영 봉
(Kang Hoon Lee, Chang Ho Yu, Jae Weon Choi, and Young Bong Seo)

Abstract: Currently several kinds of sensor localization methods have been developed for terrestrial wireless sensor networks. This study, in order to extend the field to underwater environments, a localization technique is studied for UWSNs (Underwater Wireless Sensor Networks). In underwater environments, RF (Radio Frequency) signal is not suitable for underwater usage because of extremely limited propagation. Because of that reason UWSNs should be constituted with acoustic modems. But, to realize underwater application, we can borrow many design principles from ongoing research for terrestrial environments. So, in this paper we introduce the modified localization algorithm using ToA method which is based on the terrestrial research. First of all, we study the localization techniques for terrestrial environments where we investigate possible methods to underwater environment. And then the appropriate algorithm is presented in the underwater usage. Finally the proposed underwater based localization algorithm is evaluated by using computer.

Keywords: sensor localization, ToA (Time of Arrival), UWSN (Underwater Wireless Sensor Network)

I. 서론

RF (Radio Frequency)와 MEMS (Micro Electro-Mechanical System) 분야의 비약적인 발전은 감시와 제어 응용에 있어 large-range 네트워크의 사용을 가능하게 하였다[1]. 이에 무선 센서 네트워크상에서의 센서 위치 측정은 지난 몇 년간 각광받는 연구주제로 활발히 연구되었다[2,3].

수중 무선 센서 네트워크는 수중 환경에 구축되며, 음파 모뎀이 장착된 무선 통신이 가능한 수백 수천 개의 센서노드들로 구성된다[4]. 이러한 무선 센서 네트워크 내에 분포된 각각의 센서 위치를 결정하는 과정을 센서 위치 측정 (sensor localization)이라 한다. 각각의 센서들이 GPS 장치의 도움 없이 작동되어야함은 우리가 센서의 위치를 파악해 나가는 알고리듬의 연구 필요성이라 할 수 있으며, 네트워크상에서의 분산된 센서들은 위치 측정 알고리듬을 통해 그 위치가 결정되어야 한다.

센서 위치 측정 기법은 AoA (Angle of Arrival)[5], ToA (Time of Arrival)[6], TDoA (Time Difference of Arrival)[7], RSS (Receiver Signal Strength)[8] 등의 기법을 기반으로 지상 환경 센서 네트워크 체계에서 개발되었다[9,10]. 현재 개발된 지상기반 기술을 수중 환경에 바로 적용하기에는 어려움이 따르지만 지상 환경의 연구를 원용할 수 있다[11]. 본 논문에서는 지상 환경의 기술을 응용하여 UWSN에 적합한 센서 위치 측정 알고리듬을 제안하고 그 성능을 평가한다.

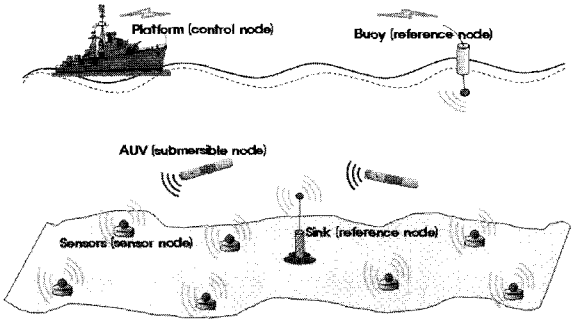


그림 1. UWSN의 구조.
Fig. 1. Structure of UWSN.

본 논문의 구성을 다음과 같이 서론에 이어 II 장에서는 수중 센서 네트워크의 구조와 요소를 기술한다. III 장에서는 수중 환경에 적합한 위치 측정 알고리듬을 제안하고, 시뮬레이션 과정을 통해 각 노드의 탐지반경과 개수, 그리고 기준노드의 위치가 센서의 위치 측정 성능에 미치는 영향을 알아본다. IV 장에서는 센서 간 거리측정 단계에서 오차가 고려될 경우, 적합한 센서 위치 측정 알고리듬을 제안하고, 마지막 V 장에서 결론을 맺는다.

II. UWSN의 구조

그림 1은 본 논문에서 가정한 임시적인 UWSN의 구조를 보여준다[12,13]. 먼저 수중 네트워크의 구성은 2개 혹은 3개의 층으로 구성이 가능하다. 우선 다수의 센서노드(sensor node)가 최하위층에 배치된다. 센서노드는 데이터를 모으고,

* 책임저자(Corresponding Author)
논문접수: 2008. 10. 13, 채택확정: 2009. 3. 23.
이강훈, 최재원: 부산대학교 기계공학부
(ourhoony@pusan.ac.kr/choijw@pusan.ac.kr)
유창호: 부산대학교 지능기계공학과(changhoyu@pusan.ac.kr)
서영봉: 부산대학교 공학교육혁신센터(ybseo@pusan.ac.kr)
※ 이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

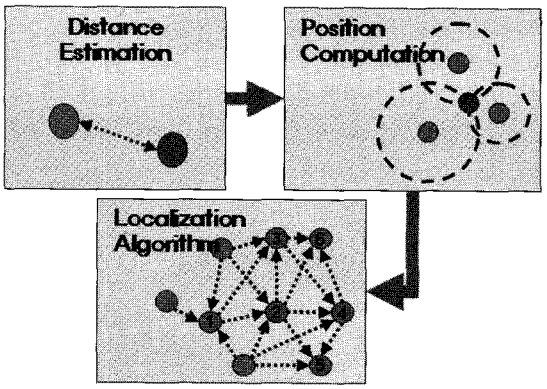


그림 2. 센서노드의 위치 측정 과정.
Fig. 2. Localization procedure of sensor nodes.

Short-range 음파모뎀을 통해 다른 노드들과 교신한다. 이 노드는 배터리에 의해 작동되고, 오랜 시간 작동하기 위해 대부분의 시간동안 휴면상태를 유지하며, 몇몇 전략적 배치가 가능하다. 그림 1에서처럼 해저 면에 분포될 수 있으며, 다른 경우에는 탐지를 피해 해저면에 매장될 수도 있다. 특히 앵커(anchor)를 이용할 경우에는 중간층에 해당하는 센서 배치로서 해저면 뿐만 아니라 수중의 어떤 위치든 가능하다. 여기서 분포된 센서노드들은 위치 측정 알고리듬을 통해 그 위치가 결정되어야 한다.

최상위층은 하나 또는 그 이상의 제어노드(control node)로 구성되며, 이는 인터넷에 연결되고, 그림 1에서의 플랫폼이 이런 종류의 노드로 볼 수 있다. 이는 해안과 가까운 육상에 위치 할 수 있으며, 네트워크를 통제하는 곳으로서 발생되는 모든 데이터를 저장하고, 처리한다. 공급 전력 또한 제한이 없으며, 수중 음파 모뎀을 통해 센서노드들과 직접적인 교신이 가능하다.

수중 센서 네트워크에서는 기준노드(reference node: buoy, sink)라 불리는 위치 정보를 지닌 센서노드가 필요하다. 이는 large-range의 라디오 및 음파모뎀을 이용하여 빠른 속도로 네트워크에 접근이 가능하고, 최하층에서 발생하는 데이터를 제어노드로 중계할 수 있는 능력을 지님과 동시에 데이터 수집점의 기능을 수행한다.

마지막으로 AUV는 이동이 가능한 제어/기준노드(control/reference node)로 볼 수 있으며, 이는 다른 노드들과의 상호작용을 통해 네트워크 관리가 가능하다.

III. 수중 환경에서의 센서 위치 측정 알고리듬

1. 센서 위치 측정 과정

UWSN에서 우리가 이미 위치를 알고 있는 기준노드를 이용하여 센서의 위치를 측정하는 기법은 전형적인 접근이라 할 수 있으며, 이를 위해서는 최소 3개의 기준노드가 전 감시지역을 커버할 수 있어야 한다. 그러나 오직 3개의 기준노드로 전 영역을 감시하는 것은 실제적으로 어려우며, 추가적인 기준노드를 두는 것은 추가비용을 부담해야하는 어려움을 야기한다. 그러므로 각 센서 간 통신을 이용하여 기준노드의 기능을 다른 센서노드에게 승계하고, 이를 통해 위치를 결정한 센서로부터 다른 센서의 위치를 파악할 수 있는 알고리듬을 구상하게 된다.

수중환경에 적합한 센서 위치 측정 알고리듬을 제안하기 위해서는 이미 활발히 진행된 지상 환경의 연구로부터 설계 특성을 응용할 수 있다. 그러나 수중 환경의 특성이 지상기반과 다르므로 우리에게 다양한 선택이 있는 것은 아니다. 널리 사용되는 라디오 통신에 의한 방법은 수중이라는 특성으로 인해 전파가 제한되므로 음파를 이용한 방법이 고려되어야 한다. 그러므로 수중 환경에서의 센서노드 위치 측정 과정은 음파신호를 이용하여 그림 2와 같이 두 센서노드간의 거리/각도를 측정(distance/angle estimation)하고, 센서노드의 위치를 계산(position computation)하는 단계를 거쳐 기준노드로서의 기능승계를 통해 주변영역으로 센서 위치 측정 영역을 확장(localization algorithm)해 나가는 세 단계로 구성된다.

지상 환경에서 센서노드간의 거리/각도를 결정하는 기법은 다음과 같이 크게 4가지 대표적인 방법으로 나뉜다. 첫 번째는 RSS 기법이다. 이 기법은 송신노드와 수신노드 사이의 신호강도를 기반으로 하는 기법으로 신호강도의 감쇠법칙을 알고, 이를 바탕으로 두 노드간의 거리를 알 수 있다. 그러나 이 기법은 수면의 배/조류의 잡음, 다중경로, 도플러효과 등으로 인해 음파통신이 제한되므로 수중 환경에서는 적합하지 않다. 두 번째는 TDoA 기법으로 송신노드에서 수신노드로의 라디오신호와 음파신호의 도달 시간차를 이용하는 방법이지만, 이는 수중에서 효율이 떨어지는 라디오신호를 이용함으로 적합하지 않다. 세 번째는 AoA 기법으로 이는 송신노드에서 신호를 보내고, 2개의 수신노드에서 각각의 신호 도착 각을 이용하여 송신노드의 위치를 측정하는 기법이다. 이는 신호방향을 탐지할 수 있는 안테나를 필요로 하므로 추가적비용을 증가시키는 단점이 있다. 네 번째는 ToA 기법으로 두 센서노드간의 송/수신시간을 측정하여 거리를 측정하는 기법이다. 이 방법은 음파신호만을 사용하므로 수중 환경에서 가장 유용성을 지닌 방법으로 고려할 수 있다[14].

지상 환경에서는 앞서 설명한 기법들을 이용하여 센서노드사이의 거리 및 각도가 측정되면, 위치 계산 기법으로 널리 사용되어지는 trilateration과 multilateration 기법을 통해 센서의 위치를 최종적으로 결정한다. 그러므로 수중 환경에 적합한 센서 위치 측정 알고리듬은 ToA 기법을 이용하여 센서노드간의 거리를 측정하고, trilateration과 multilateration 기법을 이용하여 최종적으로 센서의 위치를 결정하는 과정으로 구성할 수 있다.

2. ToA 기법

ToA 기법은 정확하게 동기화된 두 노드사이의 송/수신 시간차를 통해 거리를 측정하는 기법이다. 이는 가장 간단하면서도 직관적인 방법으로 한 노드에서 다른 노드로의 신호전송 시, 통신거리는 시간에 비례한다는 특성을 이용한다. 예를 들면 송신노드에서 신호를 보낸 시간이 t_1, 수신노드가 신호를 받은 시간이 t_2라고 한다면 두 노드간의 거리는 다음식과 같이 정의된다.

$$d = s_r(t_2 - t_1), \tag{1}$$

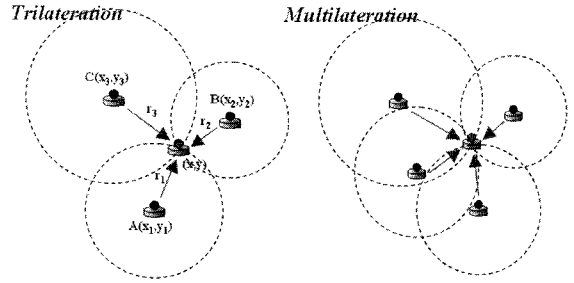


그림 3. 센서노드의 위치 계산 기법.

Fig. 3. Position estimation method of sensor node.

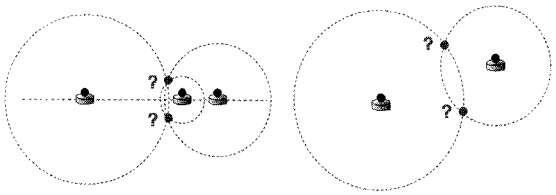


그림 4. 기준노드 선정에서의 두 가지 예외상황.

Fig. 4. 2 kinds of exceptions in choosing the reference nodes.

여기서, s_r은 음파의 전파속도($1500m/s$)를 의미하며, 시간정보는 신호전송 시 패킷의 형태로 보내진다.

3. Trilateration과 multilateration 기법

Trilateration 기법은 가장 일반적인 위치계산 방법으로 그림 3과 같이 세원의 교차점을 이용하여 센서노드의 위치를 결정하는 기법이다. 이 기법을 사용하기 위해서는 이미 위치를 알고 있는 3개의 기준노드를 필요로 하고, 또한 미지노드로부터 기준노드까지의 거리정보를 가지고 있어야 한다. 그림 3에서와 같이 미지노드의 위치정보(x,y)는 기준노드의 위치좌표 $(x_i,y_i), i=1,2,3$를 이용하여 식 (2)에 의해 미지노드의 위치정보를 획득하게 된다. 여기서 거리정보 $r_i(i=1,2,3)$는 ToA 기법으로부터 얻어진다.

$$r_i=\sqrt{(x_i-x)^2+(y_i-y)^2}\ ,i=1,2,3. \qquad (2)$$

다수의 기준노드가 존재할 경우, 우리는 multilateration 기법을 사용하여 센서의 위치를 결정할 수 있다. 이 경우는 방정식의 수가 과잉 결정되므로 미지노드의 위치 해를 쉽게 결정 할 수 있다.

특히 센서노드의 위치 계산 단계에서 미지노드의 위치파악을 위한 기준노드 선정 시 다음과 같은 두 가지 특별한 예외상황이 고려되어야 한다.

- 기준노드들 중 2개 이상이 겹쳐 있을 때
- 기준노드들이 같은 선상에 존재할 때

위 두 상황에서는 그림 4와 같이 미지노드의 위치를 유일하게 결정할 수 없다[15].

4. 제안된 알고리듬

본 논문에서 제시한 센서 위치 측정 알고리듬은 large-range를 지닌 초기 기준노드를 이용한 센서의 위치 측정과 기준노드로서의 기능을 승계하여 미지노드의 위치를 측정하는 두 가지 단계로 구성된다. 먼저 UWSN은 수많은 센서들이 배나 포에 의해 전장을 포함한 사람이 접근하기 어려운 환경에 구축되기 때문에 초기조건으로 위치를 알 수 없는 다수의 센서들이 랜덤한 분포를 이룬다고 가정하였다.

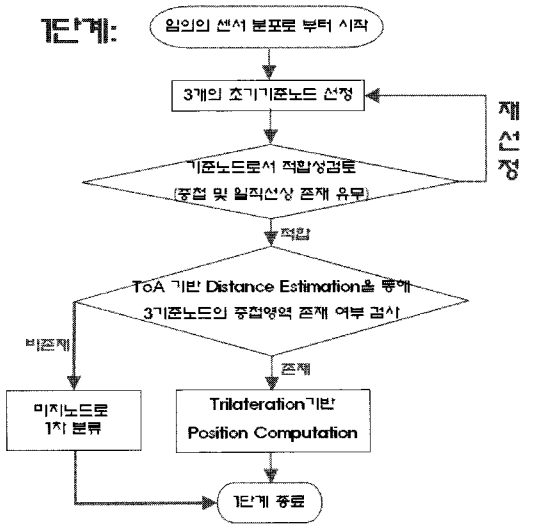


그림 5. 제안된 알고리듬의 1단계.

Fig. 5. 1st step of the algorithm.

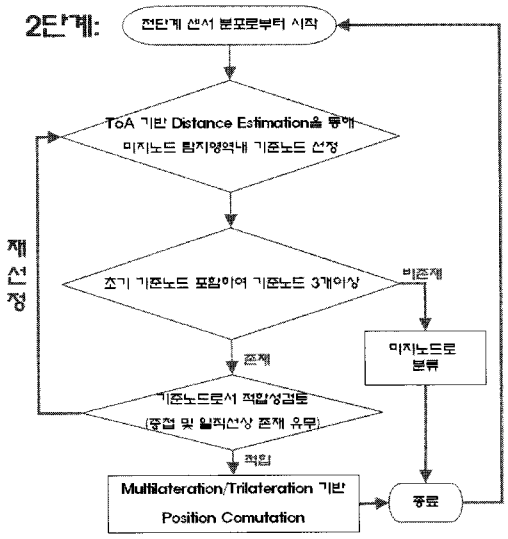


그림 6. 제안된 알고리듬의 2단계.

Fig. 6. 2nd step of the algorithm.

그림 5는 제안된 센서 위치 측정 알고리듬의 1단계 과정을 보여주는 흐름도로서 일단 센서들이 랜덤하게 배치되면 위치정보를 지니며 large-range 통신이 가능한 3개의 초기 기준노드를 선정한다. 초기 기준노드로서의 역할은 buoy나 sink node가 할 수 있으며, 이렇게 선정된 초기 기준노드는 기준노드로서의 적합성(중첩 및 일직선상의 노드 존재 유무)을 검토한다. 이상이 없을 경우 다음 단계로 진행하여 ToA 기반 거리측정을 통해 세 개의 초기 기준노드의 중첩영역에 미지노드가 존재하는지를 검사하고, 중첩영역에 포함된 미지노드에 대해 최종적으로 위치를 결정하게 된다. 즉 1단계에서는 원거리 통신 능력을 지닌 3개의 초기 기준노드를 이용하여 이들 통신반경이 겹치는 영역에 위치한 미지노드들의 위치를 결정한다.

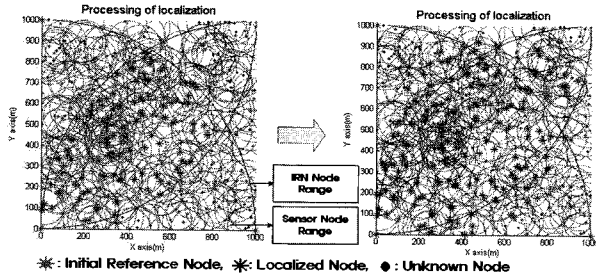


그림 7. 위치 측정 알고리듬의 갱신 과정.

Fig. 7. Update procedure of position estimation algorithm.

제안된 센서 위치 측정 알고리듬의 2단계 과정에서는 1단계에서 위치를 결정한 short-range 센서노드를 새로운 기준노드로 설정하고, 추가로 초기 기준노드를 이용하여 센서의 위치 측정 영역을 확장하게 된다. 그림 6은 2단계 센서 위치 측정 과정을 보여주는 흐름도로서, 이전 1단계에서의 센서 위치 측정 이후 초기 기준노드와 새롭게 설정된 기준노드를 이용하여 세 개의 기준노드 통신 영역에 포함된 미지노드의 위치를 결정하는 과정을 반복적으로 수행한다. 즉 센서 위치 측정 알고리듬이 2단계로 진입하면, 2단계 알고리듬만을 반복하게 되고, 위치를 측정할 수 있는 모든 미지노드의 위치를 결정하게 되면 본 논문에서 제안된 위치 측정 알고리듬은 종료된다. 그림 7은 위치 측정 알고리듬의 갱신과정을 보여주는 그림으로서, 센서노드들의 랜덤한 분포로부터 위치를 알지 못했던 미지노드들이 1단계 센서 위치 측정 과정을 거침으로서 그 위치가 결정되고, 위치가 결정된 노드는 기준노드가 되어, 1단계에서 위치를 측정하지 못했던 미지노드들의 위치 결정에 도움을 줌으로써 센서 위치 측정 영역이 확장되었음을 볼 수 있다. 그림에서 실선 곡선은 초기 기준노드의 통신반경을, 점 곡선은 센서노드의 통신반경을 나타내며 별모양으로 진하게 표시된 점은 위치가 측정된 센서노드를 의미한다.

5. 시뮬레이션 조건 및 결과

5.1 센서배치 및 조건

먼저 UWSN의 구축환경을 고려하여 본 시뮬레이션에서는 1000m×1000m 영역 내에 다수의 센서노드들이 랜덤하게 분포된 상황을 설정하였다. 여기서 두 노드가 각각의 통신반경 안에 포함된다면 노드 간 통신이 가능하다고 가정하였고, 초기 기준노드 3개의 통신반경은 1000m, 감시영역의 우측상단을 제외한 각 모서리에 위치한다고 가정하였다. 그림 8은 초기단계에서 랜덤하게 분포된 센서들의 상황을 보여준다.

5.2 각 상황별 시뮬레이션 결과

본 시뮬레이션에서는, 앞서 제안된 ToA 기반 수중 환경 센서 위치 측정 알고리듬의 성능평가를 목표로 각 센서노드의 통신반경, 개수, 그리고 기준노드의 통신 반경과 위치 변화에 따른 센서 위치 측정 성능을 검토하였다.

• 경우 1(센서의 통신 반경 50m, 150개):

본 경우는 미지노드의 통신반경이 초기 기준노드에 비해 상대적으로 작은 경우이다. 그림 9는 센서 위치 측정 결과로서, 150개의 랜덤하게 배치된 미지노드로부터 초기 기준

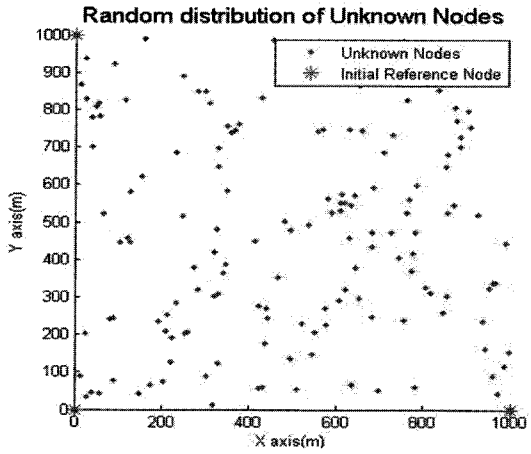


그림 8. 초기 센서들의 랜덤분포(1000m×1000m 영역).

Fig. 8. Initial random distribution of sensor nodes.

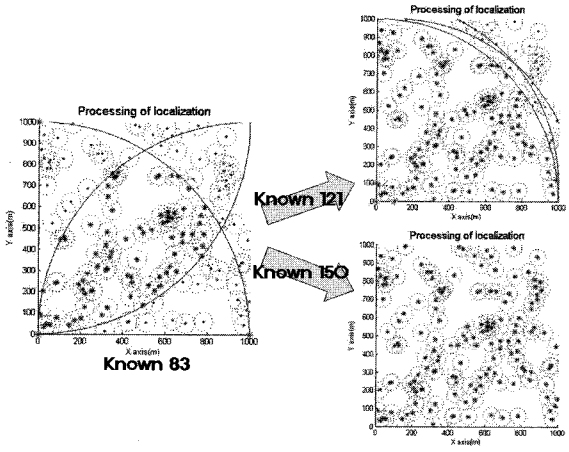


그림 9. 경우 1의 결과.

Fig. 9. Result of case 1.

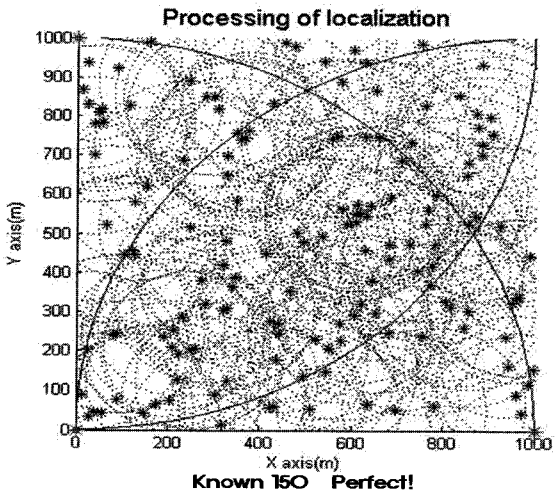


그림 10. 경우 2의 결과.

Fig. 10. Results of case 2.

노드에 의해서 83개의 미지노드의 위치를 측정하고 알고리듬이 종료되었음을 알 수 있다. 즉 통신반경이 작을 경우 원거리 통신 반경을 지닌 초기 기준노드에 의한 1단계 위

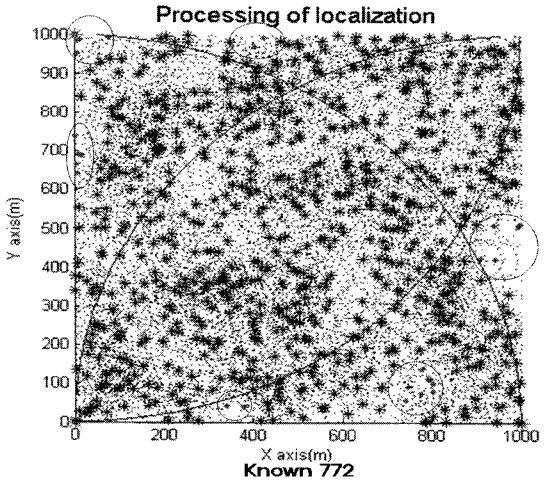


그림 11. 경우 3의 결과.
Fig. 11. Result of case 3.

치 측정 이후 더 이상 주변영역으로 위치 측정 영역을 확장하지 못하고 알고리듬은 종료되었다. 이와 같은 경우는 통신 반경이 큰 초기 기준노드들의 위치를 감시 영역의 한 쪽 모서리 또는 중앙으로 옮김으로써 위치 측정 성능을 향상시킬 수 있다.

통신 반경이 큰 초기 기준노드들을 감시영역의 한쪽 모서리로 위치를 변화시킬 경우, 121개의 미지노드 위치를 파악하여 초기 기준노드들이 감시영역 한 쪽 모서리마다 1개씩 배치 될 때 보다 향상된 성능을 보였다. 마찬가지로 통신 반경이 큰 초기 기준노드들을 감시영역의 중앙으로 위치를 변화시킬 경우에는 모든 미지노드 위치를 파악함으로써 초기 기준노드들을 감시영역 한 쪽 모서리마다 1개씩 배치시킨 경우보다 향상된 성능을 보였다.

• 경우 2(센서의 통신 반경 200m, 150개):

경우 2는 경우 1에 비해 센서노드의 통신 반경이 큰 경우이다. 그림 10은 센서 위치 측정 결과로서, 처음 150개의 랜덤하게 배치된 미지노드의 분포로부터 1단계 센서 위치 측정 알고리듬의 적용 이후 2단계 센서 위치 측정 알고리듬이 반복되면서 150개의 미지노드 위치를 최종적으로 결정하고 알고리듬이 종료되었다. 즉 센서노드의 통신 반경이 큰 경우에는 작은 수의 센서노드를 배치하더라도 성공적인 센서 위치 측정이 가능함을 알 수 있다.

• 경우 3(센서의 통신 반경 50m, 800개):

경우 3은 경우 2에 비해 센서노드의 개수가 증가된 상황이다. 그림 11은 센서 위치 측정 결과로서, 800개의 랜덤하게 배치된 미지노드로부터 원형으로 싸여진 노드를 제외한 783개의 미지노드의 위치를 측정하고 알고리듬이 종료되었다. 즉 센서노드의 통신 반경이 작을 경우 분포된 센서노드의 개수를 증가시킴으로써 센서 위치 측정 성능을 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

IV. 오차를 고려한 센서의 위치 측정

1. 거리측정오차를 고려한 알고리듬

일반적으로 지상 환경에서의 RF신호와 달리 수중 환경

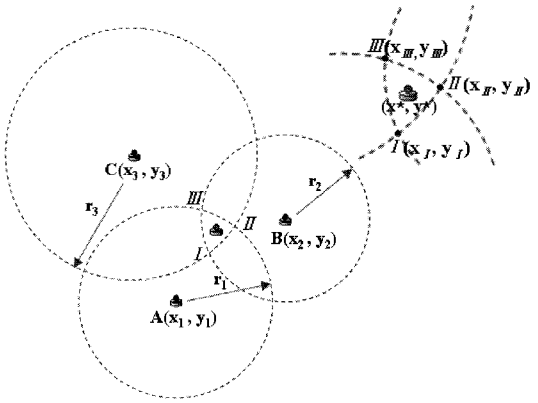


그림 12. 오차를 고려한 센서의 위치 측정.
Fig. 12. Sensor localization considering the noises.

에서의 음파신호는 그 속도가 온도, 압력, 염도에 따라 변화한다[16]. 결국 수중 환경에서의 일정하지 못한 상황으로 인해 음파의 전파궤적이 곡선이 될 수도 있다. 게다가 조류로 인한 노드의 이동, 두 센서노드 간 부정확한 시간 동기화는 센서의 위치 측정 정확도에 영향을 끼친다.

그림 3에서 알 수 있었듯, 위에서 언급한 이유로 센서노드 간 거리측정 단계에서 발생하는 거리측정 오차를 고려하지 않는다면, 3개의 기준노드좌표 (x_1,y_1), (x_2,y_2), (x_3,y_3)와 미지노드 사이의 거리정보를 이용하여 쉽게 미지노드의 좌표 (x,y)를 구할 수 있다. 그러나 노드간 거리 r_1, r_2, r_3에 측정오차가 포함된다면 그림 12와 같이 거리측정 오차로 인해 3개의 원이 한 개의 교차점을 가지지 못하게 된다. 본 장에서는 수중 환경에서 거리측정 오차가 고려되었을 때, 센서의 위치를 결정하기 위한 알고리듬을 제시한다.

그림 12는 거리측정에 있어 오차가 고려되었을 때, 미지노드의 주변 상황을 확대한 그림으로서 이러한 경우에는 점 *I, II, III*위치를 계산하고, 이 세 점의 무게중심을 이용하여 교차영역 내에 존재하는 미지노드의 위치를 결정하는 기법을 Chaczko[15]가 제안하였다. 점 *I, II, III*는 각각 두 개의 기준노드와 미지노드사이의 거리 값을 통해 위치를 계산할 수 있으며, 예를 들면 점 $III(x_{III},y_{III})$의 좌표는 다음의 식에 의해 계산된다.

$$x_{III} = x_1 + r_1\cos(\alpha+\beta), \tag{3}$$

$$y_{III} = y_1 + r_1\sin(\alpha+\beta), \tag{4}$$

여기서,

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{y_2-y_1}{x_2-x_1}\right), \tag{5}$$

$$\beta = \cos^{-1}\left(\frac{r_1^2-r_2^2+d_{12}^2}{2r_1d_{12}}\right), \tag{6}$$

$$d_{12} = \sqrt{(x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2}. \tag{7}$$

두 개의 기준노드의 좌표 (x_1, y_1), (x_2, y_2)와 위치를 결정하고자 하는 점 *III*사이의 관계는 기준노드의 좌표, 기준노드간의 거리, 미지노드와의 거리 측정 정보를 이용하여

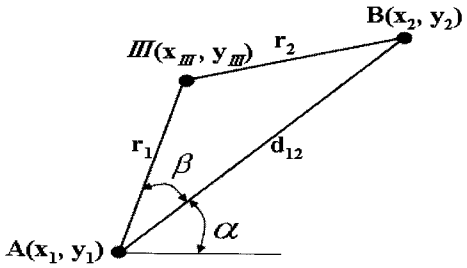


그림 13. 미지노드의 위치를 결정하기위한 삼각기법.

Fig. 13. Triangular method for determining position of the dumb node.

그림 13과 같은 삼각 형태로부터 얻을 수 있다. 이 형태로부터 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$r_2^2 = r_1^2 + d_{12}^2 - 2r_1 d_{12}\cos\beta. \tag{8}$$

식 (8)로부터 식 (6)이 유도되고, 식 (3)~(5)는 삼각함수 관계로부터 유도된다.

같은 방식으로 구한 I, II의 좌표정보를 이용하였을 때, 최종적인 미지노드의 위치(x^*, y^*)는 다음식과 같다.

$$x^* = \frac{x_I + x_{II} + x_{III}}{3}, \tag{9}$$

$$y^* = \frac{y_I + y_{II} + y_{III}}{3}. \tag{10}$$

2. 누적오차평균

최종적으로 제안된 알고리듬의 센서 위치 측정 정확도를 평가하기 위한 척도로서 누적오차평균($|\varepsilon|$)으로 정의된 변수를 도입하였다.

이는 실제 노드의 좌표 값과 위치 측정 알고리듬을 통해 결정한 좌표의 값을 비교하여 평균을 구한 것으로써, 이는 제안된 알고리듬을 적용하여 센서의 위치를 측정하였을 때, 실제 센서의 위치 값과의 차이를 의미하고, 다음 식과 같이 표현된다.

$$|\varepsilon| = \frac{\sum_{i=1}^{j} \sqrt{(x_i - x_i^*)^2 + (y_i - y_i^*)^2}}{j}, \tag{11}$$

여기서, (x_i, y_i)는 오차를 고려하지 않은 노드 즉 실제노드의 위치, (x_i^*, y_i^*)는 오차를 고려했을 때 얻은 노드의 위치, j는 고려된 총 노드의 수를 의미한다.

3. 시뮬레이션 조건 및 결과

본 시뮬레이션에서는 기준노드와 미지노드 간 거리측정 단계에서 위치 측정 오차가 고려 될 경우, 센서노드 간 송/수신 횟수에 따른 누적오차 상황을 평가 하였다. Chaczko의 알고리듬을 이용하여 3개의 기준노드의 통신영역이 겹치는 영역에 랜덤한 좌표를 가지는 미지노드 1개를 임의로 설정하였고, 노드 간 거리측정 모델은 ToA 기법을 기반으로 다음과 같이 설정하였다.

$$d = s_r(t_2 - t_1) + w, \tag{12}$$

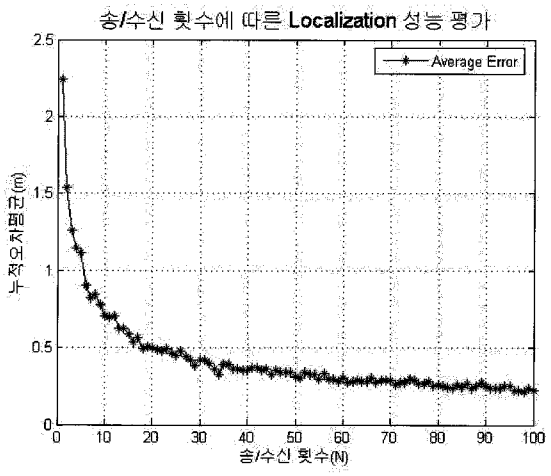


그림 14. 오차를 고려한 센서의 위치 측정, $w : N(0,5)$.

Fig. 14. Sensor localization considering the noises, $w : N(0,5)$.

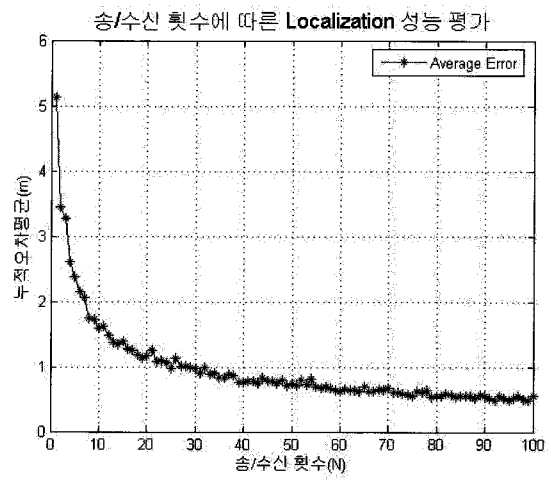


그림 15. 오차를 고려한 센서의 위치 측정, $w : N(0,25)$.

Fig. 15. Sensor localization considering the noises, $w : N(0,25)$.

여기서, w는 음파의 속도변화, 센서노드의 이동, 센서 간 시각동기화에서 발생하는 거리측정오차를 의미하는 변수로서 일정 분산을 지닌 영-평균 가우시안모델 ($N(0,\sigma^2)$)로 설정하였다.

그림 14, 15는 거리측정치에 포함된 오차가 각각 분산 5, 25로 모델링 되었을 때, 100회의 Monte Carlo 시뮬레이션을 통해 도출된 결과로서 센서노드 간 거리측정에 있어 1회의 송/수신을 통해 얻어진 거리측정치를 이용하는 것보다 수회의 송/수신을 통해 얻어진 거리 평균값을 이용하는 것이 실제적으로 누적오차평균을 줄여 센서 위치 측정 정확도를 향상시키는 결과를 가져왔다. 결국 송/수신 횟수의 증가는 오차가 고려된 센서 위치 측정에 있어 성능을 향상시키는 중요한 요소가 된다. 또한 결과로부터 약 30회를 기점으로 누적오차평균이 일정한 값에 수렴함을 알 수 있으며, 결국 이는 미지노드의 위치 측정 정확도를 향상시키기 위해 센서노드 간 송/수신 횟수가 다수가 될수록 유리하고, 센서내의 에너지 용량을 고려한다면, 적절한 송/수신 횟수 설정이 필요함을 의미한다.

V. 결론 및 향후 연구과제

본 논문에서는 천해 환경 무선 센서 네트워크에 적합한 센서 위치 측정 알고리듬을 제안하고, 시뮬레이션을 통하여 그 성능을 평가하였다. 연구를 통해 기존의 지상기반의 연구를 수중 환경으로 확장하여 수중 무선 센서 네트워크에서의 ToA 기법을 기반으로 한 센서 위치 측정 알고리듬을 제시하였다. 시뮬레이션을 통해 랜덤하게 분포된 센서노드로부터 각 상황별 위치 측정 성능을 분석하여 초기 기준노드를 포함한 센서노드의 통신 반경과 초기 기준노드의 위치, 분포시킨 센서노드의 개수가 성공적인 위치 측정의 중요한 요소임을 보였다.

또한 센서간 거리측정 단계에서 오차를 고려한 센서 위치 측정 알고리듬을 이용하여 기준노드와 미지노드 간 송/수신 횟수를 증가하여 얻은 평균치가 센서의 위치 측정의 정확도를 향상시킬 수 있음을 보였다. 특히 수중 무선 센서 네트워크의 수명이 센서의 에너지용량과 밀접한 관계가 있음을 고려했을 때, 적절한 송/수신 횟수 설정이 필요함을 알게 되었다.

아직은 수중 무선 네트워크 환경에서의 센서 위치 측정 기술이 연구 초기 단계임을 감안하였을 때, 보다 심도 깊은 연구 진행이 필요할 것이다. 이는 향후 센서노드 간 통신에 있어 초음파의 특성을 바탕으로 음파 속도의 변화, 센서노드의 이동 및 동기화오차등이 센서 거리측정 메커니즘에 보다 실제적으로 반영되어야 할 것이다. 또한 본 논문에서는 싱크노드를 기준노드로 하여 2차원상의 미지노드 위치를 측정하였으나, buoy로부터 해저 바닥에 분포된 미지노드의 위치를 측정하기 위한 3차원 위치 또한 고려되어야 할 것이다.

참고문헌

[1] N. Patwari, J. N. Ash, S. Kyperountas, Hero III, A. O. R. L. Moses, and N. S. Correal, "Location the nodes-cooperative localization in wireless sensor networks," *IEEE Signal Processing Magazine*, July 2005.

[2] Z. Chaczko and F. Ahmad, "Wireless sensor network based system for fire endangered areas," *Proceedings of the Third International conference on Information Technology and Applications(ICITA'05)*, July 2005.

[3] 심주영, 이형근, "진폭변조 확산대역 초음파측위 시스템," 제어·자동화·시스템공학 논문지, 제12권 제10권, pp. 996-1001, 2006.

[4] J. E. Garcia, "Positioning of sensors in underwater acoustic networks," *Proceedings of the MTS/IEEE OCEANS Conference, Washington DC, U.S.A.*, vol. 3, pp. 2088-2092, Sep. 2005.

[5] T. Y. Chen, C. C. Chiu, and T. C. Tu, "Mixing and combining with AoA and ToA for enhanced accuracy of mobile location," *IEE Michael Faraday House, Stevenage*, pp. 276-280, 2003.

[6] 이동활, 박종진, 김수용, 문영성, 이만형, "유비쿼터스 컴퓨팅의 실내 측위 기술을 위한 U-SAT 시스템의 적용에 관한 연구," 제어·자동화·시스템공학 논문지, 제12권 제9권, pp. 876-882, 2006.

[7] 장상욱, 하란, "무선 센서 네트워크에서 다중 왕복시간차를 이용한 위치 측정," 정보과학회논문지, 제34권 제5호, pp. 370-378, Oct. 2007.

[8] R. Vaidyanathan and L. L. Mihail, "Localization in wireless sensor networks: a probabilistic approach," *Proceedings of the ICWN 2003*, pp. 275-281, June 2003.

[9] A. Boukerche, H. A. B. F. Oliveira, E. F. Nakamura, and A. A. F. Loureiro, "Localization systems for wireless sensor networks," *Wireless Communications*, vol. 14, pp. 6-12, Dec. 2007.

[10] 박종태, 이위혁, 조영훈, 나재욱, "유비쿼터스 센서 네트워크에서 위치 측정 기술," 전자공학회지, 제32권 제7호, pp. 849-862, July 2005.

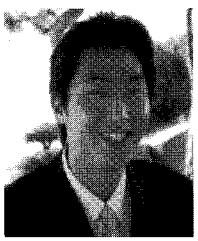
[11] J. Heidemann, Y. Li, and A. Syed, "Underwater sensor networking: research challenges and potential applications," *Technical Report ISI-TR-2005-603, USC/Information Sciences Institute*, July 2005.

[12] J. Heidemann, W. Ye, J. Wills, A. Syed, and Y. Li, "Research challenges and applications for underwater sensor networking," *Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC 2006)*, vol. 1, pp. 228-235, 2006.

[13] 조용만, 김상경, 김창화, "해양 음파 센서 네트워크 구조 연구," 한국정보과학회, 제33권 제1호, pp. 58-60, June 2006.

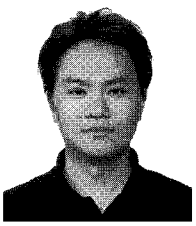
[14] V. Chandrasekhar and W. Seah, "An area localization scheme for underwater sensor networks," *OCEANS 2006 - Asia Pacific*, pp. 1-8, May 2007.

[15] C. Zenon, K. R. Jan, and N. Michal, "Methods of sensors localization in wireless sensor networks," *14th Annual IEEE International Conference and Workshops on Engineering of Computer-Based Systems*, pp. 145-152, Mar. 2007.



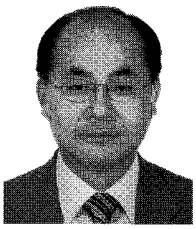
이 강 훈

2005년 한국해양대학교 기계공학부 졸업. 2009년 부산대학교 대학원 기계공학부 석사. 2009년~현재 대양전기공업 주식회사 연구원. 관심분야는 센서 로컬라이제이션 이론, 추적필터 이론, 항법 및 유도제어 시스템.



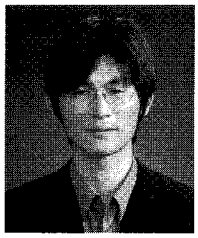
유 창 호

2002년 부산대학교 기계공학부 졸업. 2002년~현재 부산대학교 대학원 지능기계공학과 석박사 통합과정. 관심분야는 수중 무선센서망 표적추적필터 이론, 센서 로컬라이제이션 이론, 항법 및 유도제어 시스템.



최 재 원

1987년 서울대학교 제어계측공학 졸업. 1989년 서울대학교 대학원 제어계측공학 석사. 1995년 서울대학교 대학원 제어계측공학 박사. 1999년 8월~현재 IFAC Technical Committee on Aerospace 및 Technical Committee on Linear Systems 위원. 2000년 1월~현재 IEEE Control Systems Society Conference Editorial Board, Associate Editor. 2003년 3월~현재 IJCAS Editorial Board, Editor. 2007년 11월~현재 부산대학교 공학교육혁신센터/공학교육혁신거점센터/공학인증지원센터, 센터장. 2008년 9월~현재 한국산업기술진흥원 해양메카트로닉스 실험실컨소시엄, 사업단장. 현재 부산대학교 기계공학부 교수. 2008년 9월~현재 교육과학기술부 공학교육혁신위원회, 위원. 2000년 5월 한국과학기술단체총연합회 수여 제10회 과학기술우수논문상 수상. 2002년 4월 제35회 과학의 날 과학기술진흥유공포상 국무총리 표창수상. 2008년 10월 제어로봇시스템학회 고명삼 학술상수상. 관심분야는 수중로봇의 항법 및 유도제어, OCP(Open Control Platform), 추적필터 설계, 자동차-항공기 공용 제어기 설계기술, 선형시변시스템 제어이론.



서 영 봉

1997년 부산대학교 기계설계공학과 졸업. 1999년 부산대학교 대학원 기계공학부 석사. 2003년 부산대학교 대학원 기계공학부 박사. 2005년 중국 하얼빈공대 박사후과정. 2006년 부산대학교 박사후과정. 2008년 2월~11월 부산대학교 공학교육혁신센터 전임연구원. 2008년 11월~현재 부산대학교 공학교육혁신센터 연구교수. 관심분야는 수중운동체용 항법 및 유도제어 시스템을 위한 소프트웨어 기능강화 제어, 자동차-항공기 공용 제어기 설계기술, 무선센서망 표적추적필터 이론.