

논문 2012-07-24

# 수중 센서 네트워크에서 수심, 수온, 염도를 고려한 환경에서 MDS를 이용한 위치인식 연구

## (MDS-based Localization Reflecting Depth, Temperature, and Salinity of Ocean in Underwater Acoustic Sensor Networks(UWASNs))

정 희 석, 김 은 찬, 양 연 모\*

(Hui-Sok Jung, Eun-Chan Kim, Yeon-Mo Yang)

Abstract : In these days, there are huge increases of concerning underwater acoustic sensor networks (UWASNs) to explore marine resources and to monitor climate change. To collect information from sensor nodes which are randomly deployed in underwater, Multi-Dimensional Scaling (MDS) based locating methods have been recently introduced, which consider sound speed to be constant in underwater. However, underwater sound speed tends to vary depending on underwater environment factors, such as depth, temperature, and salinity. In this paper, we propose a method considering environment factors, can influence upon sound speed in underwater, and introduce experimental setup which can follow up environmental factors.

Keywords : MDS, UWASN, Localization, WSN

### 1. 서 론

최근 해양자원의 확보, 기후변화 관찰, 관광 및 레저 산업 육성을 목적으로 많은 나라들이 해양 및 해저 개발에 많은 관심을 갖고 연구, 개발에 지속적인 투자를 하고 있다. 해양자원 개발을 위한 해결책으로 최근 수중센서네트워크에 관한 관심이 크게 증가하고 있다. 수중센서네트워크는 수중 음파통신과 수중 센싱 기술을 융합한 무선 센서 네트워크로서, 수중 센서 노드들을 통해 해저 정보들을 수집하여 다중 홉 통신을 통해 지상 관제센터로 전달하는 역할을 수행한다 [1]. 무선통신으로 지상에서 사용하는 RF신호 또는 빛 신호는 수중 환경에서 높은

주파수에 의한 심한 감쇠와 산란 현상으로 전달 특성이 현저히 낮아진다. 이를 해결하고자 수중 센서 네트워크는 지상과 달리 반송파로 음파를 사용한다. 음파는 전파와 비교하여 매우 낮은 전파 지연(Propagation delay)를 갖게 된다 [2].

수중 센서 노드들은 수중에 임의로 분포되어 있기 때문에 위치정보를 노드 스스로 파악해야 한다. 센서노드들의 위치인식을 위해 MDS를 적용한 기법들이 소개되고 있다. MDS는 본래 수리심리학에서 사용되는 기법으로, 관찰하고자 하는 데이터 집합에 있어서, 그들의 대칭점들에 대한 거리는 알고 있을 때, MDS는 이 점들의 상대적인 위치를 결정한다 [2]. 수중센서네트워크에서도 음파를 이용하여 각 노드간의 거리 측정 결과를 적용하면 MDS를 응용하여 노드들의 상대적 위치정보를 추정할 수 있다 [2-4].

하지만 실제 수중환경에서는 여러 요인에 의해 음파의 속도가 변화한다. 기존의 위치파악 알고리즘은 일반적으로 수중에서의 음파의 속도는 1500 m/s로 가정하지만, 예를들어 수심 50 m, 염도 34.42‰, 수온 13.09℃에서는 음파의 속도가 1539

\* 교신저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2012. 03. 22., 수정일 : 2012. 04. 13., 채택확정 : 2012. 05. 13.

정희석, 양연모 : 금오공과대학교 전자공학부

김은찬 : 한국전자통신연구원

※ 본 연구는 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 연구된 논문임.

m/s 가 되어 39 m/s의 오차를 보인다 [5].

본 논문에서는 음파의 속도에 영향을 미치는 수심, 염도, 수온을 환경변수로 고려하여 음파속도를 계산함으로써 실제 수중환경과 가장 근사화 하여, 실험결과와 신뢰도를 높였다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 먼저 2장에서는 수중센서네트워크에서 센서노드들의 위치를 추정하는 관련 연구들을 살펴보고, 3장에서는 MDS의 수학적 모델에 대하여 기술한다. 4장에는 본 논문에서는 고려하고 있는 전체 시스템 모델을 설명하고, 5장에서는 본 논문이 제시한 환경을 적용한 실험 내용을 설명하고, 6장에서 본 논문이 주장하는 바를 정리한다.

## II. 관련 연구

수중센서네트워크에서 센서노드들의 위치추정에 관련하여 2차원 공간에서 일반 센서노드와 성능이 동일한 소수의 비콘노드를 이용하여 다중 홉 환경에서 지역별 노드의 위치정보를 추정하고, 이를 병합하는 방법으로 센서노드의 위치를 추정하는 LaMSM(Localization Algorithm with Merging Segmented Maps) 방식이 있으며, LaMSM의 단점인 센서노드들의 위치 추정에 포함된 오차로 인해, 병합과정에서 위치오차가 누적되는 문제점을 해결하기 위해, 병합과정 없이 노드가 직접 수신한 비콘노드의 정보를 기반으로 MDS 방법과 Arun [5] 방법을 이용하여 3차원 공간에서 센서노드의 위치를 직접 추정하는 방법이 연구되었다 [2].

또한 최단 경로를 따라 측정된 거리의 합에 의해 알수 없는 센서노드의 거리를 계산하고, global map을 작성하기 위해 MDS로 측정된 데이터를 적용한 후 고정되어 있는 비콘노드의 정보를 이용하여 global map을 재배치하는 MDS-MAP(C) 방식이 연구되었다 [3].

1-hop에서 2-hop 이내 거리를 가지는 센서노드 그룹들에서 MDS-MAP(C)를 이용하여 여러 local map을 계산한 후 local map들을 병합하여 global map를 추정하는 방법인 MDS-MAP(P)가 연구되었다 [6].

MDS를 사용하지 않고 수중센서네트워크에서 센서노드의 위치를 추정하는 방법으로는 AUV(Autonomous Underwater Vehicles)이 이동을 하면서 자신의 위치를 측정하고 동시에 주변 센서노드가 있는 global map을 작성하는 SLAM

(Simultaneous Localisation And Mapping)

방식이 연구 되었다 [3, 7].

위의 연구들에서는 센서노드들의 위치추정에서 정확도를 개선하기 위해 계산식이 추가되어 처리시간이 길어지는 단점이 있다. 본 논문에서는 센서노드들의 위치추정에서 정확도를 높이기 위해 계산식을 추가하지 않고, 환경변수를 바로 적용하여 처리시간이 짧으며, 수중에서 음파의 속도에 영향을 미치는 수심, 수온, 염도를 적용하여 오차를 줄이는 실험을 하였다.

## III. MDS

MDS는 본래 수리심리학에서 사용되는 기법으로 많은 분야에서 사용하고 있다. 어떠한 점들의 집합에 있어서, 그들의 위치는 모르나 모든 대칭점들에 대한 거리는 알고 있을 때, MDS는 이 점들의 상대적인 위치 좌표계와 이로 인한 점들의 위치를 결정한다. 수중센서네트워크에서도 음파를 이용하여 각 노드간의 거리 측정 결과를 적용하면 고정된 위치 정보를 알지 못하더라도 상대적인 위치를 이용하여 노드들의 위치를 추정 할 수 있다.

임의 센서  $k$ 가 수집한 모든 비콘 노드들의 위치 정보 행렬  $B = [b_1, b_2, \dots, b_N]$ 와 비콘 노드까지의 거리 벡터  $r_k = [d_1, d_2, \dots, d_N]^T$  정보로부터 다음 거리 행렬을 계산한다 [3].

$$D_k = \begin{bmatrix} 0 & r_k^T \\ r_k & D_B \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서  $D_B$ 는  $B$ 에서 구한 비콘노드간의 대칭 거리 행렬이다. 앞서 언급한 바와 같이 MDS를 적용하면  $D_k$ 로부터 센서와 비콘노드의 위치좌표  $X = [s_k, B]$ 에 대한 상대좌표  $\bar{X} = [\bar{s}_k, \bar{B}]$ 를 구할 수 있다. 두 좌표 행렬의 관계식은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$X = R\bar{X} + t \cdot 1^T \quad (2)$$

여기서  $R$ 은 크기가  $3 \times 3$ 인 회전행렬이고,  $t$ 는  $3 \times 1$  크기의 이동벡터,  $1 = [1, 1, \dots, 1]^T$  단위 벡터이다.

알고 있는  $B$ 와  $\bar{B}$ 를 이용하여  $R$ 과  $t$ 를 구하는 문제는 Procruste Analysis 문제로 알려져 있으며 여러 가지 방법론이 제시되어 왔다 [2].

산출한  $R$ 과  $t$ 를 기반으로 다음과 같이  $k$ 번째

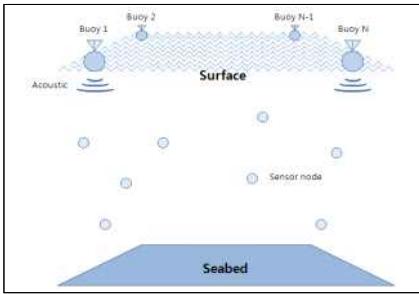


그림 1. 수중센서네트워크 구성도  
Fig. 1. UWASN Diagram

노드의 위치를 구할 수 있다.

$$\hat{s}_k = \overline{R}s_k + t \quad (3)$$

나머지 노드들도 동일한 방법으로 자신의 위치 정보를 파악한다.

#### IV. 시스템 모델

그림 1처럼 수중 센서네트워크는 3차원 공간에서 기준이 되는 Buoy N개와 M개의 센서 노드로 구성되어 있고, 서로 동기화 되었다고 가정한다. 부이가 비콘 노드가 되고 센서 노드들과는 음파를 이용하여 통신을 한다.

일정 주기별로 비콘노드는 자신의 위치정보  $b_i$ 와 송신시각  $T_i^{send}$ 을 기록한 메시지를 순서대로 발송하고 다른 비콘노드와 센서노드들은 수신한다. 이때 각 노드들은 메시지를 수신한 시간  $T_i^{received}$ 을 기록한다. 발송메시지를 수신한 각 노드는 메시지를 송신한 비콘노드의 위치정보  $b_i$ 와 수신 신호의 지연시간 (time of flight : ToF)  $\Delta t_i$ 를 얻을 수 있다. 지연시간을 기반으로 비콘 노드까지의 거리  $r_i$ 는 아래 식으로부터 구할 수 있다.

$$r_i = v_s \cdot \Delta t_i = v_s \cdot (T_i^{received} - T_i^{send}) \quad (4)$$

여기서  $v_s$ 는 수중에서의 음파 속도이고  $i=1,2,\dots, N$ 이다 [2].

일반적으로 음파 속도는 수심, 염도, 수온에 영향을 받는 것으로 알려져 있다. Grosso의 연구에 따르면, 수중에서 음파 속도는 다음 식으로 정의하고 있다 [8, 9].

$$C = 1448.6 + 4.618T - 0.0523T^2 + 1.25(S - 3.5) + 0.017D \quad (5)$$

표 1. 수중 음파속도에서 사용된 파라미터  
Table 1. Parameters used for underwater acoustic velocity

항목	내용	단위
C	Speed	m/s
T	Temperature	℃
S	Salinity	‰
D	Depth	m

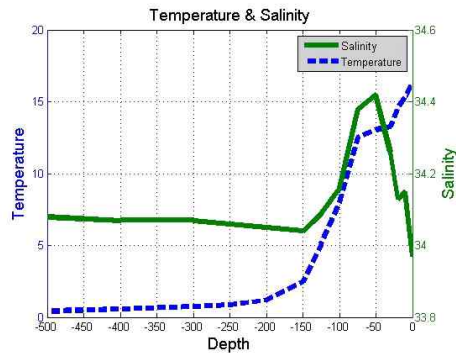


그림 2. 2008년 동해안의 수심에 따른 수온 및 염도 측정데이터(한국해양자료센터 2008년 동해 정선102-정점06 조사자료) [10]

Fig. 2. Temperature and salinity measurement data related to depth of water at East coast in 2008

여기서 사용된 환경 변수는 표 1에서 정리한 바와 같이 수심, 온도, 염도로 요약할 수 있다. 본 논문에서는 음파 속도를 식(5)를 이용하여 환경 요소에 따른 음파 속도 변화를 고려하였다.

#### VI. 실험

본 논문에서 제안한 방법을 검증하기 위해 모의 실험은 Matlab R2007을 사용하여 수행하였다. 실제 환경변수를 고려하기 위해 그림 2에서 보여준 수온과 염도, 수심 데이터를 사용하였다. 그림 2는 한국해양자료센터에서 발표한 2008년 동해에서 실측한 자료로, 수심에 따른 수온과 염도를 보여주고 있다. 자료에 따르면 200m 이상의 수심에서 수온은 거의 일정하고, 수심에 따라 염도의 변화는 34.4~34 ‰로 큰 차이를 보이지 않음을 알 수 있다.

표 2. 수심, 염도, 수온에 따른 음파 속도 및 음파 속도를 1500m/s로 한 데이터와의 오차율 [2]  
 Table 2. Tolerance between acoustic velocity according to depth, salinity and temperature of water, and acoustic velocity established as 1500m/s

실험	수심 (m)	염도 (%)	수온 (°C)	MSE (μ)	STD (σ)	음파속도 (m/s)
1	50	34.42	13.09	14.976	2.299	1539 m/s
2	150	34.04	2.5°C	1.142	0.116	1500 m/s
3	500	34.08	0.4	2.536	0.181	1497 m/s

본 실험에서는 그림 2에 측정된 위치 중에서 수온의 편차가 나타나기 시작하는 수심 50m 지점과 수온의 편차가 나지 않는 구간인 150m 지점, 그림 2에 표시된 실측 데이터 중에서 가장 깊은 수심인 500m에서 실험하였다. 비콘노드(Beacon Node)는 해수면에 고정되어 있다고 가정하였다.

표 2는 수심 50m, 150m, 500m에서 측정한 수중환경변수를 토대로 음파속도의 변화를 모의실험한 결과이다. 표에서 μ는 MSE(Mean Square Error)를 계산한 것이며, σ는 STD(STANDARD Deviation)를 나타낸다. 데이터를 보면 음파의 속도가 가장 차이가 많이 나는 수심 50m에서 염도 34.42‰, 수온 13.09°C이며, 이때 식 5의 수식을 사용하여 계산한 음파의 속도는 1539m/s로 계산된다.

그림 3의 세로축은 수심을 meter로 나타내고, 가로축은 수중의 수평거리를 meter로 나타내고 있다. 그림 3에서 나타나듯이 환경변수를 고려한 것이 실제 노드와 근사한 것을 알 수 있다.

### V. 결 론

본 논문에서는 기존 수중센서네트워크에서 MDS를 이용한 센서노드들의 위치파악 알고리즘이 수중환경을 고려하지 않아 실제 수중에서 측정치의 오차가 있음을 확인하였으며, 이를 보완하기 위해 수중에서 음파의 속도에 영향을 미치는 수심, 염도, 수온을 고려한 실험을 하였다. 실험결과에 따르면, 수심 50m에서 수심, 염도, 수온을 고려한 경우 고

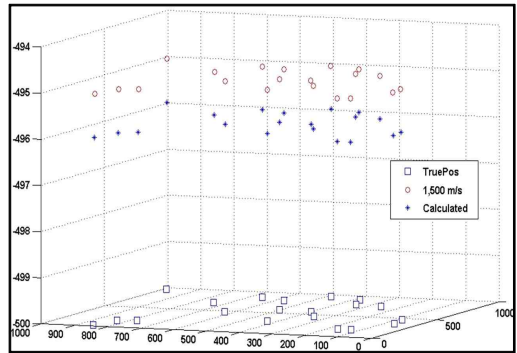


그림 3. 실제 센서노드와 환경변수를 고려하지 않은 경우, 고려한 경우의 MDS 실험결과

Fig. 3. MDS simulation results regard/regardless of real sensor node and environmental factor

려하지 않은 경우와 비교하여 약 39m/sec의 오차가 있음을 확인 할 수 있다.

알려진 위치추정 기법은 수중환경 요인으로 알려진 수심, 수온, 염도를 고려하지 않아, 가정한 수중 음파속도와 실제 수중에서의 음파속도간의 오차가 증가한다. 음파속도의 오차는 결과적으로 노드의 위치정보의 정확성을 떨어뜨리는 요인으로 작용한다.

본 실험에는 수중 음파속도를 수중 환경요인들을 고려하였고, 실제 수중환경과 가장 근사한 실험환경을 만들어서 실험 데이터의 신뢰성을 향상시켰다.

본 연구 결과를 바탕으로 추가 변수를 고려한 비콘노드와 센서 노드간 직접 통신이 가능한 단일홉에서 다중 홉 네트워크 환경으로 확장에 대한 연구는 진행 중이다.

### 참고문헌

[1] G. Latsoudas, "A Fast and Effective Multidimensional Scaling Approach for Node Localization in Wireless Sensor Networks," IEEE Transactions on signal processing, Vol. 55, No. 10, pp.5121–5127, 2007.  
 [2] 김은찬, 이상호, 김청산, 김기선, "해양 센서네트워크에서 MDS를 이용한 센서노드의 위치정보 파악 알고리즘," 대한전자공학회 2009년 하계종합학술대회, pp.625–626, 2009.  
 [3] Y. Shang, "Improved MDS-Based Localization," Proceedings on INFOCOM 2004

24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, Vol. 4, pp.2640-2651, 2004.

- [4] S. Oh, "Sensor Network Localization from Local Connectivity : Performance Analysis for the MDS-MAP Algorithm," Proceedings on Information Theory Workshop IEEE, pp.1-5, 2010.
- [5] K.S. Arun, T.S. Huang, S.D. Blostein, "Least squares Fitting of Two 3-D Point Sets," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 9, No. 5, pp.698-700, 1987.
- [6] E. Kim, S. Lee, C. Kim, K. Kim, "Long-range Beacons on Sea Surface based 3D-Localization for Underwater Sensor Networks," Proceedings on 2009 5th International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Networks, pp.102-107, 2009.
- [7] D.H Won, Y.M Yang, "A three-dimensional localisation algorithm for underwater acoustic sensor networks," International Journal of Computational Vision and Robotics, Vol. 2, No. 3, pp.218-236, 2011.
- [8] V.A. Grosso. "New equations for the speed of sound in natural waters(with comparison to other equations)," Journal of the Acoustical Society of America Vol. 93, No. 4, pp.1084-1091, 1974.
- [9] S. Haykin. "Communications System," Wiley, 2000.
- [10] 한국해양자료센터, 연안정지관측자료, 동해 전선 102-정점 06, 2008.

**저 자 소 개**

**정 회 석**



2003년 동명정보대학교 정보통신공학과 학사.

2012년 금오공과대학교 전자통신공학과 석사.

현재 금오공과대학교 전자공학과 박사 과정.

관심분야: 임베디드 소프트웨어, 센서네트워크, 위치인식

Email: ultali@gmail.com

**김 은 찬**



1997년 숭실대 정보통신공학과 학사.

1999년 광주과학기술원 정보통신공학과 석사.

2010년 광주과학기술원 정보통신공학과 박사.

현재, ETRI 부설연구소 선임연구원.

관심분야: 무선센서네트워크, 위치추적, 거리측정, 모바일 프로그래밍

Email: to.eckim@gmail.com

**양 연 모**



1990년 KAIST 전기및 전자공학과 학사.

2006년 GIST 메카트로닉스공학과 박사.

2006~2008년 DGIST 선임연구원(PL).

2008~현재 금오공과대학교 전자공학부 교수.

관심분야: EPONs, 센서네트워크, 임베디드시스템, 네트워크 시뮬레이션

Email: yangym@vivaldi.kumoh.ac.kr