

구조화된 공간에서의 수중 무선 센서 네트워크를 이용한 위치 추정 시스템

Infrastructure-based Localization System using Underwater Wireless Sensor Network

박 대 길, 광 경 민, 정 완 균, 김 진 현*

(Daegil Park¹, Kyungmin Kwak², Wan Kyun Chung¹, and Jinhyun Kim²)

¹Pohang University of Science and Technology

²Seoul National University of Science and Technology

Abstract: In this paper, an infrastructure-based localization method using underwater wireless sensor network (UWSN) is addressed. A localization using the UWSN is necessary to widen the usage of underwater applications, however it is very difficult to establish the UWSN due to the restrictions of water. In this paper, to extend the usage of UWSN at the infrastructure, we propose a sophisticated UWSN localization method using the Received Signal Strength Indicator (RSSI) of the electromagnetic waves. During the electromagnetic waves propagating in underwater, there arises a lot of attenuation according to the distance, while the attenuation shows uniformity according to the distance. Using this characteristics, the localization system in underwater infrastructure is proposed and the experimental results show the effectiveness.

Keywords: UWSN (Underwater Wireless Sensor Network), underwater localization, RSSI (Received Signal Strength Indicator), infrastructure-based localization

I. 서론

현재 지상에서의 위치 추정(localization)은 GPS, 레이저, 소나 등의 다양한 센서 및 정보를 이용하여 비교적 정확한 위치를 추정함으로써 우리 삶속에서 유비쿼터스(ubiquitous) 환경 조성에 기여하고 있다. 그렇기 때문에, 지상에서의 위치 추정은 어떻게 정확한 위치 추정방법에 대한 연구뿐만 아니라, 얼마나 작고 저렴한 가격으로 높은 성능을 보이는 지에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1,2]. 하지만 수중 위치 추정(underwater localization)은 수중 자원개발, 수중 생태계 및 환경 모니터링, 군수 분야 등에서의 위치추정(localization)을 요구하는 영역이 증가하고 있는데 반하여, 사용할 수 있는 센서가 적으며, 수중 환경에서 사용이 불가능하거나 센서 작동 범위가 매우 짧기 때문에 실제로 위치

추정을 위해서 수중 음파 센서만이 주로 사용되고 있다. 하지만 음파 센서의 경우 가격이 매우 비싸고 동적인 환경에서 사용하기 힘들다는 단점을 가지고 있다.

본 논문에서는 이러한 문제를 극복하기 위한 방법으로 전자기파의 수신된 신호의 세기(RSSI: Received Signal Strength Indicator)를 이용하여 수중 센서 네트워크(UWSN: Underwater Wireless Sensor Network)를 구성할 것을 제안한다. 그림 1은 동일한 대역(420 MHz)에서 전자기파(EM: Electromagnetic)의 거리에 따른 신호세기를 보여준다.

그림 1에서 볼 수 있듯이 공기 중에서의 전자기파는 거리에 따른 신호 감쇠는 미미한데 반하여 불규칙적인 외부 영향에 따른 감쇠가 큰 특징을 보이며, 물속에서는 신호의 세기가 급속하게 감소하여 넓은 영역을 위치 추정하기 어려울 것으로 보인다. 하지만 RSSI를 이용하여 수중에서 위치 추정을 하는 경우 이는 반대로 장점이 될 수 있다. 그림 1에서 공기 중에서의 수신 신호 세기는 앞서 언급한 바와 같이 거리에 따른 신호 세기의 변화보다 그 외의 환경에 따른 신호세기의 변화가 크다. 이 때문에 수신 신호 세기를 이용하여 위치 추정이 힘들며 거리에 따른 감쇠가 적기 때문에 분해능(resolution)이 떨어진다. 반면에 수중에서는 거리에 따른 신호의 감쇠가 크지만 균일하게 일어나기 때문에 공기 중보다 좋은 분해능을 가지며 위치 추정 정확도 역시 높다. 이를 이용하면 기존의 공기 중에서 RSSI를 이용한 위치추정방법보다 더욱 좋은 성능의 센서로 사용이 가능할 수 있다[3-5]. 다만, 물에서의 감쇠 때문에 위치 추정이 가능한 영역이 매우 작기 때문에 이러한 한계를 극복하기 위하여 송신 전자기파의 세기를 강하게 하거나 통신

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2012. 5. 15., 수정: 2012. 6. 14., 채택확정: 2012. 6. 30.
박대길, 정완균: 포항공과대학교 기계공학과

(daegilpark@postech.ac.kr/wkchung@postech.ac.kr)

광경민, 김진현: 서울과학기술대학교 기계공학과

(supermaxx@seoultech.ac.kr/jinhyun@seoultech.ac.kr)

※ 본 연구는 교육과학기술부와 한국연구재단의 선도연구센터지원 사업(NO. 2011-0030075), 지식경제부 '산업원천기술개발사업'의 일환인 "노약자를 위한 감성교감 및 이동보조 서비스 로봇 개발" 과제(10038574), 교육과학기술부와 한국연구재단의 <실감교류 인체감응솔루션> 글로벌프런티어연구개발사업(한국연구재단-M1AXA003-2011-0028358), 교육과학기술부와 한국연구재단의 도약 연구 지원 프로그램(R17-2008-021-01000-0), 한국연구재단(No. 2011-0014003), 한국과학기술원 국방무인화 기술 특화연구센터를 통한 방위사업청과 국방과학연구소의 연구비 지원으로 수행되었음.

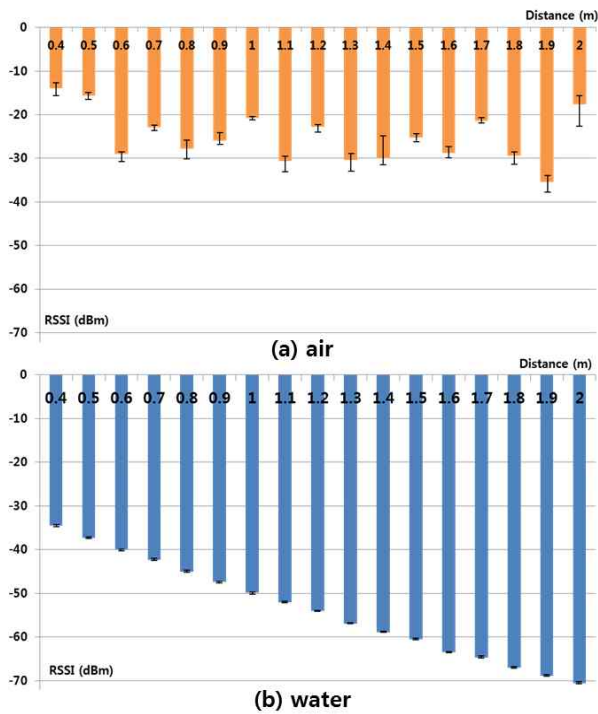


그림 1. 거리에 따른 (a) 공기와 (b) 수중에서의 RSSI 값의 비교.
Fig. 1. Value of RSSI according to the distance: (a) in air, and (b) in underwater.

대역의 주파수를 낮추는 방법을 사용할 수 있다. 그럼에도 불구하고 공기 중과 비교하여 극히 짧은 센서간의 통신가능 거리 때문에 실제로 수중 위치 추정은 매우 어려운 일이며, 이를 극복하기 위하여 센서의 작동 범위를 고려한 UWSN을 구성함으로써, 보다 넓은 영역에서 위치 추정을 하려 한다.

본 논문에서는 이러한 UWSN을 이용한 위치추정을 위하여 UWSN 방법 중 하나인 구조화된 영역에서의 위치추정 (Infrastructure-based localization)을 수조에 구성함으로써, UWSN을 이용한 위치추정이 가능한지를 실험으로 확인하고자 한다. 먼저 II 장에서는 구조화된 영역에서의 위치추정 방법 및 관련이론을 설명하고 거리 추정 기법 중 하나인 RSSI를 이용한 위치추정방법을 소개하며, 또한 UWSN을 구성하기 위한 센서모델, 다중 주파수채널 사용 및 노드 구성방법에 대해서 설명한다. III 장에서는 실제 수조에서 알루미늄 프레임에 이용하여 실험환경을 구성하고 실험을 통하여 실험환경에서의 위치 추정 실험 및 실험결과에 대해 고찰한다. 마지막으로 IV 장에서는 결론 및 앞으로의 연구 방향에 대해 설명하고자 한다.

II. 본론

1. UWSN을 이용한 위치추정 방법

기존의 UWSN을 이용한 위치추정을 하는 방법에는 크게 센서 사이의 거리(range)와 방향(bearing)을 측정하여 위치추정에 이용하는 Range-based method와 거리 및 방향을 이용하지 않는 Range-free method으로 나눌 수 있다.

Range-based method는 노드(node)간의 정확한 거리 또는

각도를 측정하여 UWSN에서의 노드 사이의 위치를 추정하는 방법이다. 이 방법은 정교한 위치추정을 할 수 있으나, 방법이 range-free method에 비하여 복잡하고 더 많은 정보가 요구된다는 단점이 있다. 노드 사이의 거리 및 각도를 측정하기 위해서는 Time of Arrival(ToA), Time Difference of Arrival(TDoA), Angle of Arrival(AoA), RSSI 등이 사용된다. Range-based method는 노드들의 자유도 및 절대 위치를 알고 있는 노드의 수에 따라서 구조화된 영역에서의 위치추정(infrastructure based localization), 분배된 노드에서의 위치추정(distributed positioning localization), 모바일 노드에서의 위치추정(localization that use mobile beacons)으로 분류할 수 있다[5].

이와 반대로 Range-free method는 노드 사이의 거리 또는 각도를 사용하지 않고, 위상학(topological)이나 기하학(geometric) 등을 이용하여 위치추정을 하는 방법이다. 이 방법은 거리나 방향 정보를 요구하지 않으며 매우 간단하다는 장점이 있으나, 정밀한 위치추정이 어렵다는 단점이 있다. 대표적인 기법으로 Centroid localization [6], DV-Hop [7], Density aware Hop-count localization [8] 등이 있다. Range-free method는 크게 홉 수(hop-count)를 이용하여 위치추정을 하는 홉 수 기반 위치 추정방법(hop-count based localization)과 주어지는 정보로 영역을 나누어 위치추정을 하는 영역기반 위치추정(area-based localization)으로 분류할 수 있다[9].

2. 구조화된 영역에서의 위치추정

본 논문에서 사용한 위치추정 방법은 구조화된 영역에서의 위치추정이다. 이는 range-based method 중 하나로써, 고정된 노드(fixed node)들의 위치를 정확히 알고 있을 때, 움직이는 모바일 노드(mobile node)와 고정된 노드 간의 RSSI 정보를 가지고 삼각측량법을 사용하여 위치를 추정한다.

2.1 RSSI를 이용한 거리 추정기법

RSSI를 이용한 거리 추정 기법은 송신 노드에서 송신된 전자기파가 거리에 따라 매질에 흡수 및 산란되어 신호세기가 감쇠 되는 현상을 이용하여 거리를 추정하는 방법이다. RSSI 기법은 크게 센서 모델을 세워 거리를 추정하는 방법과 학습을 통해 Radio map [8]을 만들어 거리 추정에 이용하는 방법으로 나눌 수 있다. 그림 1에서 볼 수 있듯이, 공기 중(그림 1(a))에서는 거리에 따른 감쇠보다 환경에 의한 불확실성이 크기 때문에 Radio map을 이용한 방법이 많이 사용한다. 하지만 수중에서는 그림 1(b)와 같이 불확실성이 적기 때문에 다항식을 이용한 센서 모델로 표현할 수 있다. 수중에서의 센서 모델은 3.1.1에서 다룰 것이다 [4,12].

2.2 삼각측량법

삼각측량 방법은 다수의 거리 센서들로부터 얻어지는 거리 값을 이용해 위치추정을 하는 방법이다. 그림 2와 같이, 고정된 노드와 모바일 노드 사이의 거리 값을 얻을 수 있을 때, 고정된 노드에서 얻어진 하나의 거리 값으로부터 알 수 있는 모바일 노드의 평면상의 위치는 거리 d 만큼 떨어진 원의 형태로 나타난다. 이때 고정된 노드 k 와 모바일 노드 m 사이의 거리 모델은

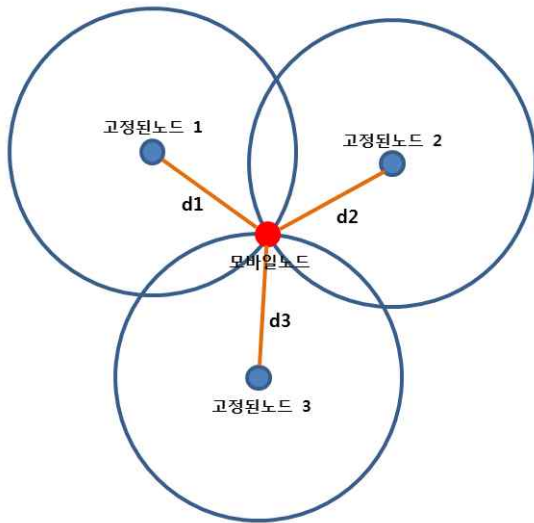


그림 2. 삼각측량법.
Fig. 2. Triangulation.

$$d_k = \sqrt{(x_k - x_m)^2 + (y_k - y_m)^2} \quad (1)$$

와 같이 나타낼 수 있다. 이때 실제 노드로부터 얻어지는 거리 값 d 에는 에러가 포함되어 있는 경우가 많은데, 이 경우 최소자승법(least square method)을 이용하여 각 노드간의 거리 값 d 의 에러를 최소화시키는 위치를 추정한다. 이때 타깃의 위치를 추정하기 위해서는 3개 이상의 고정된 노드가 필요하며, 3차원 공간상에서는 4개 이상의 고정된 노드가 필요하다.

3. RSSI 방식의 위치추정을 위한 UWSN의 구성

RSSI 방식 위치추정을 위해서 신호의 세기를 이용하여 두 노드 사이의 거리를 추정할 수 있도록 거리 추정기법을 제시해야 하며, 각 다중 노드에서 송신된 신호의 세기를 수신 노드에서 구분할 수 있도록 신호의 세기가 중첩되지 않아야 한다. 이를 위해서 우리는 매질을 고려한 센서 모델을 사용하고 다중 주파수 채널을 이용하여 신호가 중첩되지 않도록 UWSN을 구성하였다.

3.1 센서 모델

RSSI 값은 두 노드 사이의 거리뿐만 아니라 매질 및 안테나의 특성과 주파수의 영향을 받는다. 공기 중의 센서 모델은 Friis Transmission Formula [11]을 사용하나, 이는 매질이 공기이고, 무지향성 안테나일 경우에만 적용이 가능하기 때문에 수중 환경에서 적용하기 부적절하다. 따라서 본 논문에서는 매질에 따른 감쇠 특성이 고려된 센서 모델을 사용하였다[12]. 송신 노드에서 송신된 신호세기 S_T (dBm)에 따른 수신 노드에서의 신호세기 S_R (dBm)은 식 (1), (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$S_R = -20 \log_{10} R - 20\alpha R \log_{10} e + \delta \quad (2)$$

$$\delta = 10 \log_{10} G_T + \log_{10} G_R + 20 \log_{10} \frac{c}{4\pi f n} + \Delta\delta \quad (3)$$

여기서 G_T , G_R 은 각각 송신 및 수신 안테나 게인(dB), f , n , c 는 각각 주파수, 매질의 굴절률, 빛의 속도를 나타내며

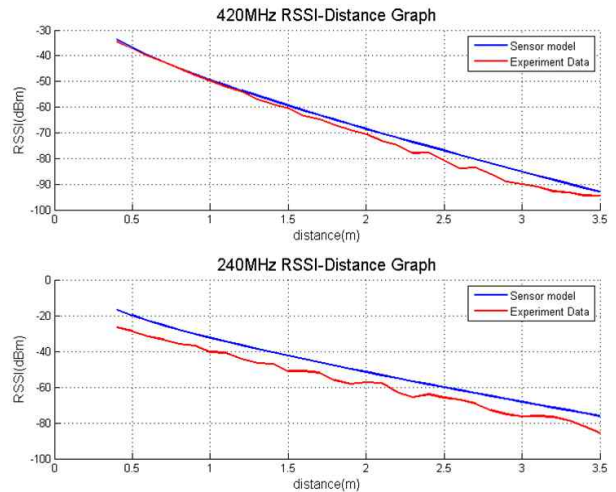


그림 3. 실험데이터와 제시된 센서 모델의 비교 [12].
Fig. 3. Comparison between Experiment and Sensor model [12].

$\Delta\delta$ 는 미소 에러 변수이다. 그림 3은 제시한 센서 모델과 실험 데이터를 비교한 그래프이다[12]. 이 그림에서 센서 모델은 실험 데이터와 비슷한 감쇠 경향을 가지는 것을 확인할 수 있었다.

3.2 무지향성 안테나를 이용한 UWSN 노드 구성

무지향성 안테나(omnidirectional antenna)는 그림 4와 같이 기본적으로 양각에 대해서는 지향성을 가지고 있으나 방위에 대해서는 원형에 가까운 무지향성을 나타내는 안테나를 말하며, 대표적으로 다이폴 안테나가 있다. 무지향성 안테나는 이러한 특성 때문에 평면상의 같은 거리에 있는 노드로부터 같은 세기의 RSSI 값을 얻을 수 있다. 하지만,

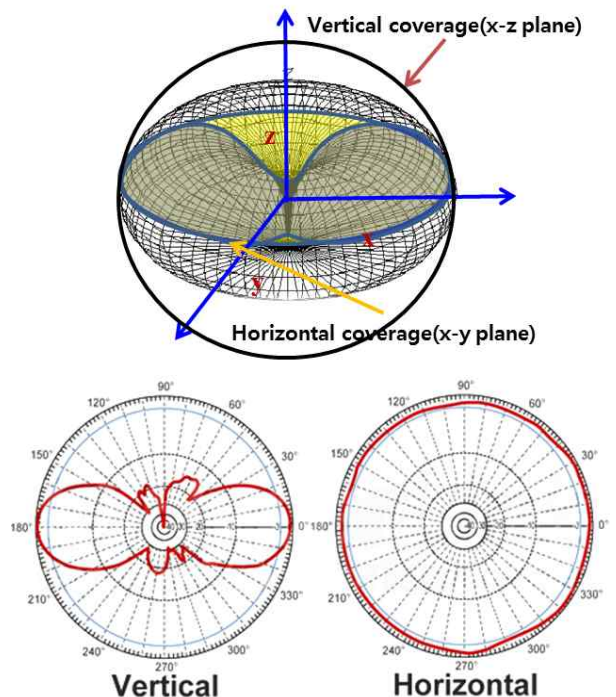


그림 4. 무지향성 안테나의 전파특성.
Fig. 4. Propagation property of omnidirectional antenna [12].

송신 노드와 수신 노드 사이에 평행이 이루어지지 않으면 두 노드 사이의 각의 크기에 따라 수신 신호의 세기가 감소한다. 이 경우 RSSI를 이용한 거리 추정 오차가 커지기 때문에 각 노드의 안테나들이 평행을 유지하도록 해야 한다.

3.3 다중 주파수 채널을 이용한 RSSI 측정

평면상의 위치 추정을 위해서는 3개 이상의 고정된 노드에서 송신된 신호를 하나의 모바일 노드에서 수신해야 한다. 이때 각 노드의 송신 주파수가 같을 경우, 신호가 중첩되어 송신 노드를 알 수 없을 뿐만 아니라 신호의 중첩으로 인하여 추정 거리의 오차가 생기게 된다.

이러한 신호의 중첩을 방지하고 다중 노드로부터 거리를 추정하기 위하여 각 노드마다 다른 주파수의 채널을 할당하였다. 그림 5는 다른 채널을 이용한 두 개의 노드로부터 송신된 신호를 받았을 때의 RSSI 그래프이다. 이렇게 수신된 신호의 세기를 제시한 주파수 채널에 따라 센서 모델에 각각 대입하여 고정 노드와 모바일 노드간의 거리를 추정하고, 얻어진 노드 사이의 거리를 이용하여 삼각측량법으로 모바일 노드의 위치를 추정한다[13].

III. 실험 및 결과

1. 구조화된 환경의 설치

구조화된 수중 센서네트워크를 구성하기 위하여, 가로 12 m, 세로 8 m, 깊이 6 m의 한국로봇융합연구원(KIRO) 지하공학수조에 실험 공간을 설치하였다(그림 6(a)). 수중 센서 네트워크 환경은 알루미늄 프레임 사용하여 구성하였으며, 시험대의 너비 2.5 m, 길이 6 m로 제작하였다.

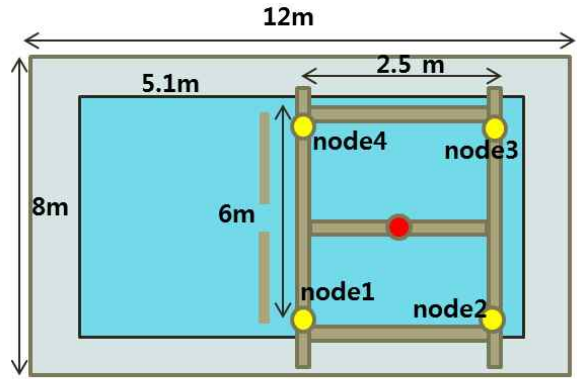
안테나의 경우 물에서 사용하기 위해서 방수처리를 하였으며, 무지향성 안테나로부터 안정된 RSSI 값을 얻기 위해 그림 7과 같이 알루미늄을 이용한 안테나 프레임을 제작하였다. 안테나 프레임은 시험대 위에서 자유롭게 이동이 가능하도록 제작하였으며, 안테나는 프레임의 중앙에 고정될 수 있도록 설계하였다. 이때 수면으로부터 안테나의 끝단까지의 길이는 150 cm이다.

또한 전자기파의 생성 및 전자기파의 세기를 측정하기 위하여 전자기파 생성기(NI5670 signal generator)와 전자기파

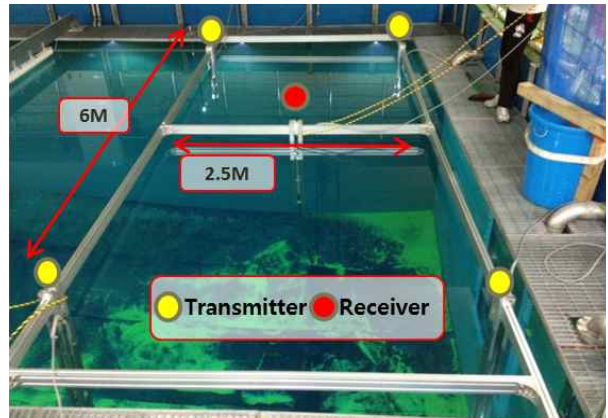
분석기(NI5660 signal analyzer)를 사용하였다. 실험 시의 송신전력은 10 mW이며, 이때의 송신 주파수는 420 MHz이다.

각 노드들의 배치는 그림 6(b)와 같다. 시험대 가장자리의 노드들은 지정된 위치에 고정시켰으며, 고정된 노드들은 전자기와 생성기로부터 각기 다른 주파수의 전자기파를 송신한다. 각 노드간의 거리는 알고 있다고 가정하였다. 시험대의 가운데에는 위치를 알고자 하는 모바일 노드를 배치하였으며, 모바일 노드는 전자기와 분석기와 연결되어 수신된 전자기파의 세기를 측정한다. 이때 실험 결과와 비교하기 위하여 모바일 노드의 위치를 측정하였다.

실험에 사용된 안테나와 물의 특성 값은 표 1과 같다.



(a)



(b)

그림 6. 구조화된 환경의 설치.

Fig. 6. Setup the infrastructure-based localization.

표 1. 실험 환경에서의 환경특성.

Table 1. Characteristics of experiment environment.

	변수	변수값
안테나	안테나의 송신계인	3 [dBi]
	안테나의 수신계인	3 [dBi]
	송신 파워	10 [mW]
	송신 주파수	420 [MHz]
실험수조 특성(민물)	전기전도도	0.071681 [1/m]
	투자율	7.2797×10^{-10} [F/m]
	유전율	1.2566×10^{-6} [H/m]
	굴절률	8.8

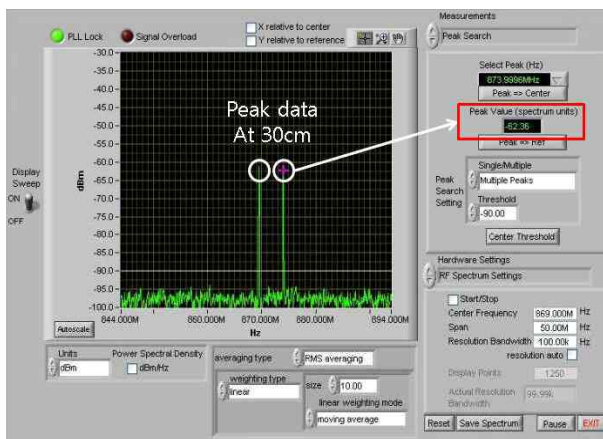


그림 5. 동일한 거리에서 수신한 다중 주파수 채널의 신호강도.
Fig. 5. Received signal strength of multi frequency channel at same distance.

2. 실험과정

실험 과정은 송신 노드와 수신 노드를 원하는 위치에 배치한 후, 각 안테나간의 거리와 시험대와의 거리를 정밀한 도구로 측정하여 각 안테나의 실제 위치를 기록한다. 그 후, 시험대 가장자리의 4개의 고정된 노드에서 동일한 세기의 전자기파를 송신하였으며, 모바일 노드에서는 안테나를 통해 각 노드에서 송신된 신호의 RSSI 값을 측정하여 센서 모델을 통해 거리 정보를 얻고, 거리 정보를 이용하여 최소 자승법으로 모바일 노드의 위치 추정을 한다. 마지막으로 추정된 위치와 실제 위치간의 비교를 통하여 UWSN의 가능성을 확인하였다.

3. 실험결과 및 고찰

총 4번에 걸쳐 모바일 노드의 위치를 변경하며 실험하였으며, 각 실험 조건 및 실험결과는 그림 8 및 표 2와 같다. 표 2에서 최대 오차와 최소 오차란 각각 실제 위치와 추정 위치간 거리가 가장 클 때와 가장 작을 때의 오차 거리를 나타낸다. 또한 RMS 오차(root mean square error)란 추정된 위치와 실제 위치간의 오차를 제곱하여 더한 제곱근의 평균을 말하며, 추정 위치와 실제 위치의 평균적인 오차를 표현한다. 표 2에서 볼 수 있듯이 4번의 실험 모두에서 추정된 위치가 실제 위치와 거의 비슷한 결과 값을 얻는 것을 확인할 수 있었으며, RMS 오차 및 최대-최소 오차 역시 만족할만한 결과를 얻는 것을 확인할 수 있었다. 다만, 그림 8을 보면, 실험 1~3에서는 공분산이 추정위치를 기준으로 정규분포를 따르는 것을 확인할 수 있으나, 실험 4에서는 공분산 값이 추정위치를 기준으로 2개의 부분으로 나누어지는 것을 확인할 수 있었다. 이는 그림 3에서 나타나는 센서 모델과 실제 실험 데이터간의 차이로 인하여 나타나는 바이어스 에러가 심하게 나타나는 경우로 볼 수 있다.

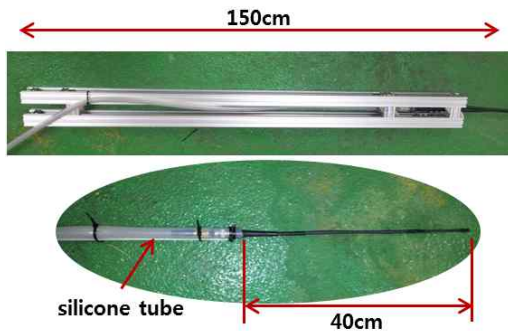


그림 7. 안테나 및 안테나 프레임 설계.
Fig. 7. Antenna and Antenna frame design.

표 2. 실험 조건 및 결과.

Table 2. Experiment condition and result.

	실험 1	실험 2	실험 3	실험 4
실제위치	[1.270 2.503]	[1.270 2.503]	[1.270 2.903]	[1.530 1.805]
추정위치	[1.293 2.518]	[1.283 2.517]	[1.303 2.843]	[1.551 1.840]
최대오차	0.1132m	0.1163m	0.2316m	0.1168m
최소오차	0.0023m	0.0057m	0.005m	0.0029m
RMS오차	0.0473m	0.0409m	0.0804m	0.0582m

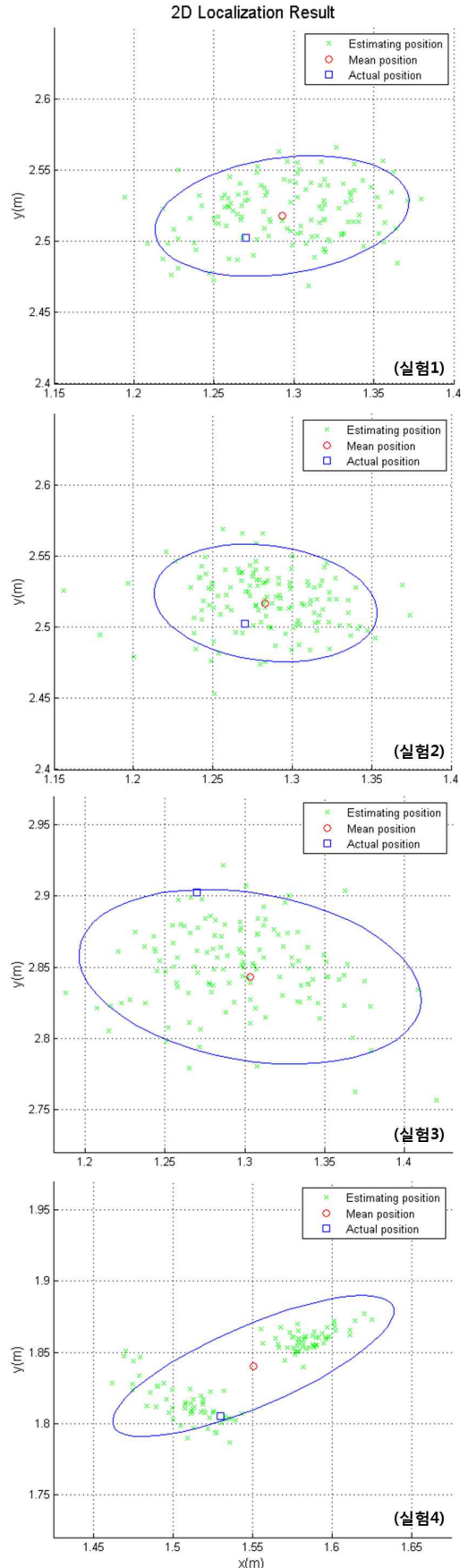


그림 8. 위치 추정 실험 결과.
Fig. 8. Localization experiment result.

IV. 결론

본 논문에서는 수중 센서 네트워크를 이용한 수중 위치 추정 가능성에 대해서 알아보고, RSSI 방식의 위치 추정을 위한 UWSN 구성 방법에 대해서 설명하였다. 또한, 실제로 구성된 센서 네트워크를 이용하여 수중 위치 추정을 실험하였으며, 실험을 통해 구조화된 영역에서 UWSN을 이용한 만족스러운 위치추정 결과를 얻을 수 있었다. 추후 3차원 공간에서 위치 추정이 가능하도록 안테나 특성을 고려한 UWSN 기법에 대한 연구를 지속적으로 수행할 계획이다.

참고문헌

- [1] T. K. Yang, W. Y. Choi, and J. M. Lee, "Localization of multiple robots in a wide area" *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol 16, no. 3, pp. 293-299, Mar. 2010.
- [2] Y.-H. Kim, U. K. Song, and B. K. Kim, "Development of precise localization system for autonomous mobile robots using multiple ultrasonic transmitters and receivers in indoor environments" *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol 17, no. 4, pp. 353-361, Apr. 2011.
- [3] K. Yedavalli, B. Krishnamachari, S. Ravula, and B. Srinivasan, "Ecolocation: a sequence based technique for rf localization in wireless sensor networks," in *Proc. of 4th International Symposium on Information Processing in Sensor Networks*, New Jersey, USA, no. 38, pp. 285-292, 2005.
- [4] S.-J. Lee, K. M. Kwak, and J. Kim, "Development of two dimensional underwater localization system using rf sensors," in *Proc. The 7th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence 2010*, Busan, Korea, pp. 541-543, Oct. 2010.
- [5] V. Chandrasekhar, W. K. G. Seah, Y. S. Choo, and H. V. Ee, "Localization in underwater sensor networks-survey and challenges," in *Proc. The 1st ACM international workshop on Underwater network 2006*, New York, USA, pp. 33-40, 2006.
- [6] 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.
- [7] D. Niculescu and B. Nath, "DV based positioning in Ad Hoc networks," *Telecommunication Systems*, vol. 22, no. 1-4, pp. 267-280, 2003.
- [8] S. Y. Wong, J. G. Lim, S. V. Rao, and W. K. G. Seah, "Multihop localization with density and path length awareness in non-uniform wireless sensor networks," *Proceedings of the 61st IEEE Vehicular Technology Conference*, Stockholm, Sweden, May 30-Jun 1, 2005.
- [9] J. Heidemann, Y. Li, A. Syed, J. Wills, and W. Ye,

"Research challenges and applications for underwater sensor networking," *Proc. of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC 2006)*, Las Vegas, USA, April 3-6, 2006.

- [10] P. Bahl and V. N. Padmanabhan, "RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system," *IEEE INFOCOM*, vol. 2, pp. 775-784, Mar. 2000.
- [11] D. C. Hogg, "Fun with the friis free-space transmission formula," *IEEE Antennas Propagat. Mag.*, vol. 35, no. 4, pp. 33-35, 1993.
- [12] D. Park, K. Kwak, W. K. Chung, and J. Kim, "Development of underwater distance sensor using EM wave attenuation," IROS 2012 Submitted.
- [13] K. M. Kwak and J. Kim, "Feasibility of obtaining multi channel sensor nodes' distance data using RSSI," *Proc. of the KAMES 2011 Joint Symposium*, Daegu, Korea, pp. 1015-1018, Nov. 2011.



박대길

2011년 서울과학기술대학교 기계공학과 학사. 2011년~현재 포항공과대학교 기계공학과 석박통합과정 재학중. 관심분야는 Underwater Sensors, SLAM, Underwater Localization, Underwater Robots.



광경민

2011년 서울과학기술대학교 기계공학과 학사. 2011년~현재 서울과학기술대학교 기계공학과 석사과정 재학중. 관심분야는 Underwater Localization with RSSI, Underwater Robots.



정완균

1981년 서울대학교 기계설계학과 학사. 1983년 한국과학기술원 기계공학 석사. 1987년 한국과학기술원 로봇공학 박사. 1987년~1993년 POSTECH 기계공학과 조교수. 1988년 CMU 방문 교수. 1995년 U.C.Berkeley visiting scholar. 1993년~2000년 POSTECH 기계공학과 부교수. 2000년~현재 POSTECH 기계공학과 정교수. 2009년~현재 IEEE Transactions on Robotics Editor. 관심분야는 SLAM, Navigation, Underwater robots, Medical Robotics, Minimally Invasive Surgery, Robust Controller.



김진현

1998년 포항공과대학교 기계공학과 학사. 2000년 포항공과대학교 기계공학과 석사. 2005년 포항공과대학교 기계공학과 공학박사. 2005년~2007년 한국생산기술연구원 선임연구원. 2007년~현재 서울과학기술대학교 기계공학과

조교수. 관심분야는 Redundant Manipulator, Underwater robots, Hovering robots, Neuro Robotics.