Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers Vol.52, NO.4, April 2015 http://dx.doi.org/10.5573/ieie.2015.52.4.023
ISSN 2287-5026(Print) / ISSN 2288-159X(Online)

논문 2015-52-4-4

Look-up table을 이용한 수중 음향파 거리 추정 알고리즘

(Ranging Algorithm of Underwater Acoustic Wave with Look-up Table)

천 주 현*, 문 승 현*, 이 호 경**

(Ju-Hyun Cheon, Seung-Hyun Moon, and Ho-Kyoung Lee©)

요 약

본 논문에서는 수중 위치 추적(Underwater Localization)을 위한 수평거리 추정 방식 중 음선의 각도 변화를 이용하는 방식을 개선하는 Look-up Table(LUT)를 사용하는 방식을 제안하고 기존 방식과의 연산속도 및 수평거리 오차를 비교한다. LUT를 사용하여 추정하는 방식은 수신기의 음파 도달 시간(Time of arrival : ToA)과 깊이에 따른 Sound Speed Profile(SSP)을 이용하여 만들어진 수평 거리-ToA table을 이용한다. 결과적으로, 음선의 각도 변화를 이용하는 방식에 비해 수평거리 추정 오차는 다소 증가하게 되지만, 수신된 ToA에 대응되는 수평거리를 사용한다는 점에서 실시간으로 각도 변화를 추정하는 기존 방식에 비하여 매우 빠른 처리가 가능하다.

Abstract

In this paper, we introduce a underwater ranging algorithm with Look-up Table (LUT) by modifying the existing method which is using the changes of angles of accoustic rays with SSP (Sound Speed Profile). We compare the horizontal distance errors and the calculation times. Our new algorithm exploits Time of Arriva l(ToA) - horizontal distance table based on SSP. This algorithm offers faster calculation speed than the previous one with the slight increase of the distance estimation error.

Keywords : 수중 음향파, 수중 거리 위치추적, 수중 거리 추정 알고리즘, sound speed profile

Ⅰ. 서 론

해양 수중 위치 추정을 위하여 각 노드간의 수평거리를 파악하는 것은 매우 중요하다[1]. 송·수신 노드 사이의 거리를 파악하기 위하여, 음파의 도달 시간(Time of arrival : ToA)을 이용하는 다양한 거리 추정 방식들이 제안되었다[2]. 이러한 방법들을 통하여 각 송·수신기 사이의 2차원 수평거리를 계산하고, 구해진 거리 정보를 이용하여 삼변측량법이나 삼각측량법과 같은 방법으로 3차원 상에서 위치를 찾을 수 있다. 따라서 2차원 수평거리 추정이 정확할수록 위치 추정 또한 정확해진다.

수평거리 추정을 할 때의 음파의 전파 속도는 수심에 따른 온도, 수압, 염도 등에 따라 달라지는 특성을 가지고 있다[3]. 이로 인하여 음선의 굴곡(Ray bending)이 생기며, ToA을 이용하여 위치를 추정할 때 각 송·수신 노드간의 거리를 직선거리로 생각할 수 없는 문제가 존재한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 측정된 ToA 값을 이용하여 음선의 굴곡을 고려하고 전파 속도가 SSP의 평균값을 가진다고 가정하여 거리를 구하는 방식들이 제안되었다[4~5]. 이러한 방법들은 송신기의 위치와 수신기의 깊이, SSP(Sound Speed Profile)를 알고 있다

* 학생회원, ** 정회원, 홍익대학교 전자전기공학부
(Department of Electrical and Electronic Engineering, Hongik University)
© Corresponding Author(E-mail: hklee@hongik.ac.kr)
※ 이 논문은 2014년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 20120007622 , No. 2009-00422)
Received ; February 3, 2015 Revised ; February 28, 2015
Accepted ; March 25, 2015

는 가정 하에서 이루어진다. 그러나 이러한 가정은 깊이에 따라 변하는 음파 속도를 정확히 반영할 수 없어 거리 추정에 오류를 증가시킨다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 깊이에 따른 SSP에 기반을 둔 음선의 미소 각도 변화를 스넬의 법칙에 따라 적용한 후, 이 과정을 반복하여 송신 노드의 출발 각을 추정하는 방식이 제안되었다[6]. 하지만 상기 방식은 송신노드의 출발 각을 직접 추정하지 않고 관련된 상수를 추정하는 방식이다. 따라서 본 논문은 송신 노드의 출발 각을 직접 추정하는 방식을 통하여 간단하고 직관적인 해석을 제공한다. 이러한 방식은 음선 굴곡을 적용한 거리 추정 방식에서 기존의 방식보다 매우 좋은 성능을 보이며, ToA에 잡음 영향이 더해진 오류가 있는 ToA(Noisy ToA)를 수신한 상황에서도 기존 방법보다 개선된 성능을 보인다. 하지만 각도의 미소 변화량에 따라 적분 연산을 해야 하므로 복잡도가 매우 크다는 단점이 존재하여, 앞서 설명한 추정 방식으로 만든 LUT를 이용하여 복잡도를 개선하는 방식[7]을 제안한다. 그리고 제안한 방식과 기존에 제시된 방법들의 수평거리 오차와 연산량을 비교 및 분석한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. Ⅱ장에서는 음선의 각도 변화에 따른 수평거리 계산 방법에 대하여 고찰하고, Ⅲ장에서는 LUT 방식에 대한 수평거리 계산 알고리즘을 흐름도와 예시를 이용하여 설명한다. Ⅳ장에서는 제안된 방식의 성능 및 연산량을 비교 분석하고 Ⅴ장에서 결론을 내린다.

Ⅱ. 각도 추정을 통한 수평거리 계산 방법

수신단에 도달한 ToA는 식 (1)과 같이 정의할 수 있다[7].

$$T = \int_S \frac{1}{v(s)}\, ds \tag{1}$$

식 (1)에서 Source depth, receiver depth는 각각 Z_s, Z_r, ToA는 T로 표현되고, S는 음선의 궤적을, $v(s)$는 그림 1과 같은 SSP이다. 본 논문에서는 실제 해양환경에서 측정된 ToA 대신에, BELLHOP 프로그램[8]을 이용하여 계산된 ToA를 사용한다. BELLHOP 프로그램에는 SSP, 깊이, 그리고 수평거리를 입력변수로 넣어 계산한다.

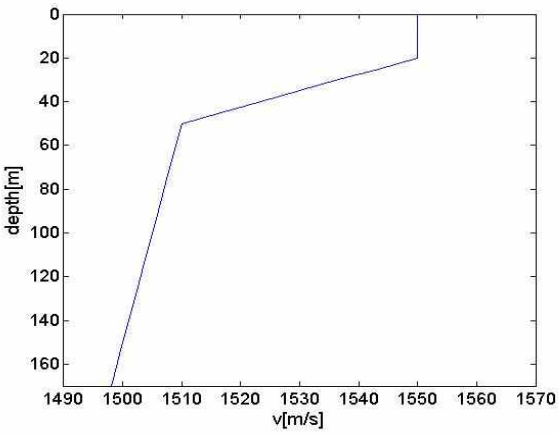

그림 1. 깊이에 따른 음파의 속도 (Sound speed profile)
Fig. 1. Sound Speed following depth. (Sound Speed profile)

식 (1)의 음선 궤적 S를 깊이에 대한 식으로 변환하면 식 (2)와 같다[9].

$$T = \int_{Z_s}^{Z_r} \frac{1}{v(z)} \frac{1}{\cos[\theta(z)]}\, dz \tag{2}$$

식 (2)의 $\theta(z) = \arctan(dy/dz)$ 로서, 임의의 깊이 z에서 ray path의 각도로 정의된다. 따라서 본 논문에서는 BELLHOP 프로그램에서 계산한 ToA를 이용해서 $\theta(z)$값을 추정하여 거리를 계산한다. 이에 대한 거리 추정 방법으로 미소깊이에 대한 각도 변화를 Snell의 법칙을 이용하여 $\theta(z)$를 추정 하는 방법을 이용하였다. 이 과정은 다음과 같다.

Step 1. 수신기에서 ToA를 측정한다.

Step 2. 식(2)의 적분구간을 lm씩 나누어 전개한다. 이에 대한 표현은 식(3)과 같다.

$$\begin{aligned} T = & \int_{Z_s}^{Z_s+l} \frac{1}{v(z)} \frac{1}{\cos[\theta(z)]}\, dz \\ & + \int_{Z_s+l}^{Z_s+2l} \frac{1}{v(z)} \frac{1}{\cos[\theta(z)]}\, dz \\ & \quad \vdots \\ & + \int_{Z_r-l}^{Z_r} \frac{1}{v(z)} \frac{1}{\cos[\theta(z)]}\, dz \end{aligned} \tag{3}$$

Step 3. $\theta(z)$는 각 적분 구간 내에서 일정한 값을 가지는 상수로 가정한다. 출발각을 θ_{z_s}로 놓고 식(3)을 전개하면

식(4)와 같다. 식 (4)에서의 $k=\left[\frac{z_r-z_s}{l}\right]$ 이다.

$$T=\int_{Z_s}^{Z_s+l}\frac{1}{v(z)}\frac{1}{\cos\left[\theta_{z_s}\right]}dz + \int_{Z_s+l}^{Z_s+2l}\frac{1}{v(z)}\frac{1}{\cos\left[\theta_{z_s+l}\right]}dz \\ \vdots \\ + \int_{Z_r-k}^{Z_r}\frac{1}{v(z)}\frac{1}{\cos\left[\theta_{z_r-k}\right]}dz \quad (4)$$

Step 4. 각 적분 구간 내의 각도를 θ_{z_s}로 표현하기 위하여 그림 1의 SSP와 식 (5)의 스넬의 법칙을 이용한다.

$$\frac{\sin\theta_{z_s+l(m+1)}}{\sin\theta_{z_s+lm}}=\frac{v_{z_s+l(m+1)}}{v_{z_s+lm}} \quad (5)$$

식(5)를 θ_{z_s+l}을 $\theta_{z_s}, v_{z_s+l}, v_{z_s}$에 대하여 정리하면 식(6)과 같다.

$$\theta_{z_s+l(m+1)}=\cos^{-1}\left(\sqrt{1-\left(\frac{v_{z_s+lm}}{v_{z_s}}\right)^2\left(1-\cos^2\theta_{z_s+lm}\right)}\right) \quad (6)$$

식(6)을 이용하여 식 (4)의 $\theta_{z_s+ml}(m=0,1,2,3..)$들은 모두 θ_{z_s}의 함수로 나타낼 수 있으며, 측정된 ToA 정보를 이용하여 출발각 θ_{z_s}를 구할 수 있다.

Step 5. 4의 과정을 통해 구한 출발각을 이용하여 식(7)과 같이 $l(m)$간격으로의 각도 변화의 tangent 성분의 합을 구함으로써 수평거리를 계산할 수 있다.

$$y_r=l\times\sum_{i=0}^{m}\tan\left(\theta_{z_s+il}\right) \quad (7)$$

위와 같은 방법은 l의 값이 작을수록 수평거리 계산 시간이 증가한다. 이는 각도 변화 구간이 조밀해질수록 식 (4)의 적분 구간의 수가 증가하기 때문이다.

수신기의 깊이는 150m , 송신기는 수면에 있다고 가정하여 3000m에 수신기가 존재한다고 가정하고 l값에 변화에 따른 추정 궤적과 실제 거리와의 차이를 그림 2에 나타내었다.

그림 2와 같이 l의 값이 작을수록 추정 거리는 실제 거리에 근접하는 것을 볼 수 있다. 이는 식 (2)의 근사화 구간이 조밀해지기 때문에 SSP에 근거한 각도의 변화의 오차가 줄어들기 때문이다.

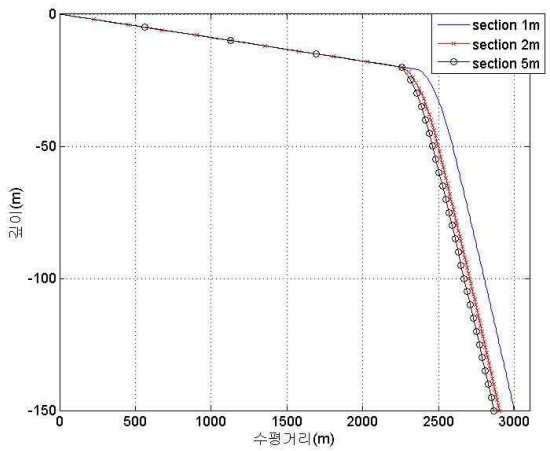

그림 2. 수신기의 수평거리가 3000m일 때 l값의 변화에 따른 추정 궤적 비교
Fig. 2. Comparison of each estimated ray trajectory with variation of l (3000m, 150m).

Ⅲ. LUT를 이용한 수평거리 계산 방법

본 장에서는 Ⅱ장에서의 수평거리 계산 방법을 이용하여 오류가 있는 ToA에서의 LUT를 작성하는 방법을 기술한다. 오류가 있는 ToA에 대한 모델링은 식 (8)과 같다.

$$T_{noisy}=T+n \quad (8)$$

식 (8)에서 n은 가우시안 랜덤 변수로서 해양 환경에 따라 평균과 표준편차 값을 정해줄 수 있다[10]. 본 논문에서는 평균이 0, 표준편차가 $1ms$인 가우시안 랜덤 변수로 모델링하였다. LUT를 만드는 과정은 그림 3의 흐름도를 따르며, 이에 대한 설명은 다음과 같다.

먼저, SSP와 송신기의 위치, 식 (8)에서의 n의 평균과 표준편차를 알고 있다고 가정한다. 이를 이용하여 신뢰도 p% 구간의 대응되는 값을 Q-함수로 구하고 이 값과 n의 평균의 차를 t_{mid}로 정의한다. 그 후 식 (2)를 이용하여 수평거리가 $0(m)$, 깊이 $Z_s(m)$에서의 ToA 초기값을 $T_{z_s,0}$으로 정하고 $T_{z_s,0}+2t_{mid}$를 $T_{z_s,1}$로 정한다. 위의 과정을 수평거리를 추정하고자 하는 범위까지 반복한다. 이에 대한 일반적인 식은 다음과 같다.

$$T_{z_s,n+1}=T_{z_s,n}+2t_{mid}\ (n=0,1,2,3...) \quad (9)$$

식 (9)를 추정하고자 하는 목표 수평거리까지 반복한

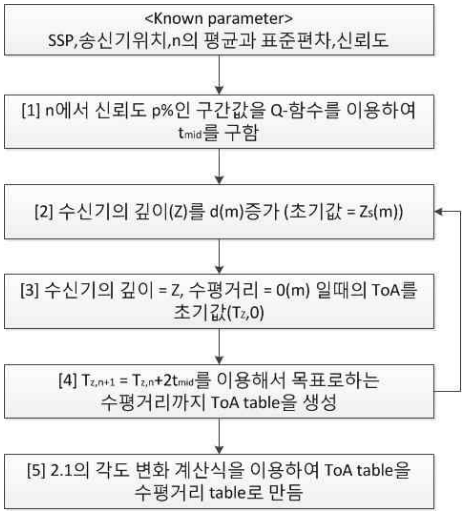

그림 3. LUT 생성 흐름도
Fig. 3. Generating Flow chart of LUT.

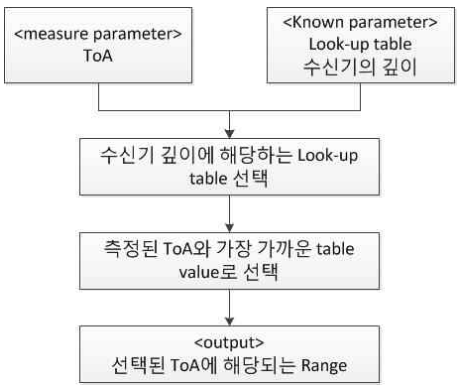

그림 4. LUT의 사용 알고리즘 흐름도
Fig. 4. Flow chart of LUT Using algorithm.

후 수신기 깊이를 dm 증가시키고 앞서 설명한 과정을 반복한다. 그 후 2.1의 각도 변화 계산식을 이용하여 수평거리와 ToA를 대응시킴으로서 깊이에 따른 ToA-수평거리 Table을 완성한다.

작성된 LUT의 사용 방법을 나타내는 흐름도를 그림 3에 나타내었다. 수신기의 깊이에 따라 대응되는 LUT의 ToA-수평거리 값을 불러오고, 측정된 ToA와 가장 가까운 LUT의 ToA 값을 수신된 ToA로 결정한 후 이에 대응되는 수평거리 값을 추정 수평거리로 정한다.

이에 대한 예시로서 수신기 깊이 150m, Noisy ToA의 표준편차는 $1ms$, 신뢰도를 90%로 가정하고 LUT를 작성하고, 측정된 ToA 정보가 수신되었을 때의 사용 방법을 그림 5를 이용하여 설명한다. 그림 5의 가로축은 앞서 가정한 조건으로 작성된 LUT의 ToA-수평거리를 나타내고, 측정된 ToA값에 따라 수평거리를

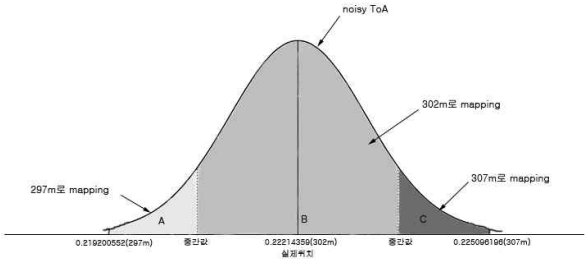

그림 5. 수신된 ToA에 따른 추정거리 결정 영역 그래프
Fig. 5. Decision region graph of estimated distace with received ToA.

정하는 방법을 도시한 것이다.

만일 ToA 측정값이 0.2222s일 경우 B영역에 해당되므로 Look-up table의 ToA 값 중 가장 가까운 ToA 값인 0.2221436s를 선택하고, 이에 대응되는 수평거리 값인 302m를 추정 거리로 정한다. ToA 오류 값이 신뢰도 바깥 구간으로 측정되는 경우에는(ToA = 0.2245s) ToA 측정값이 C영역에 해당되므로 ToA 값 0.2250962s를 선택하고 이에 대응되는 수평거리 값인 307m를 추정거리로 정한다.

Ⅳ. 각도 추정 방법과 LUT를 이용한 방법의 비교

1. 성능 비교

본 절에서는 앞 장에서 설명한 방법들의 성능을 비교한다. 실험 환경은 송신기는 수면에, 수신기는 150m 깊이에 존재하며, Noisy ToA의 평균은 0, 분산은 $1ms$라고 가정하였다. 2.1절의 수평거리 계산은 l의 값을 각각 1m, 2m, 5m로 변화시키며 수평거리 계산을 수행하였으며, LUT를 이용한 방식은 실제 수평거리 계산을 할 때, 이미 만들어진 테이블을 사용하기 때문에 l의 값은 만드는 시간에 영향이 있지만 실시간 수평거리 추정에는 영향을 미치지 않는다. 따라서, 본 논문에서는 l의 값을 1m로 고정하였다. 이에 대한 RMSE(Root Mean Square Error) 값을 $E(|y_{real}-y_{est}|)$ 에 따라 계산하였다[9]. y_{real}은 실제 수신기의 수평 거리이며, y_{est}은 앞서 설명한 방식을 이용한 수평 거리의 추정 값이다. 수신기 위치에 변화에 따른 RMSE 값에 대한 결과는 그림 6과 같다.

그림 5의 LUT 방식의 그래프는 거리 계산 알고리즘

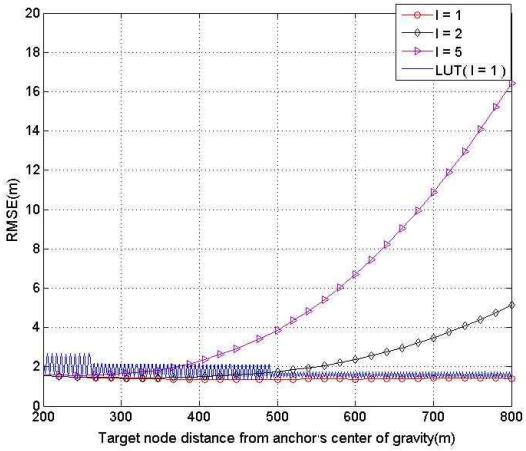

그림 6. 수신기의 위치에 따른 두 방식의 RMSE 값 비교
Fig. 6. Comparision of RMSE between two methods.

의 특성 상 RMSE 값을 계산할 때 y_{est}값이 일정 수평거리 구간 동안 일정하기 때문에 LUT에 저장되어 있는 수평거리 값과 수신기의 수평거리가 일치하는 경우와, 그렇지 않은 경우에 따라 값이 변화한다. $l=2,5$인 경우에는 2.1절에서 설명한 바와 같이 추정거리와 실제 거리의 오차가 증가한다. 하지만 2절에서 설명한 바와 같이 연산량은 감소될 것으로 예상된다. 다음 절에서는 2절에서 설명한 각 방식의 연산량과, l의 값에 변화에 따른 연산량의 변화를 기술한다.

2. 연산량 비교

본 절에서는 앞 장에서 설명한 방법의 연산량을 비교하도록 하겠다. 실험에는 INTEL(R) Core(TM) i5-3570 3.40GHz CPU를 사용하였고, 각 방법의 구현은 C언어로 작성하여 GNU 표준 C 컴파일러로 생성된 코드를 사용하였다. 연산 시간은 시뮬레이션 환경에 따른 수행 시간의 편차를 줄이기 위하여 충분한 수행 횟수 후 평균을 내어 측정하였다. 실험 환경은 반사되는 음파가 없는 환경에서 평균이 0, 표준편차가 $1ms$인 가우시안 랜덤 변수가 더해진 Noisy ToA를 가정하고, 수신기의 깊이를 150m로 가정한다.

Ⅱ장에서의 각도 추정을 통한 수평거리 측정 방법은 총 3개의 블록으로 나누어 측정하였다. 첫 번째 블록은 2.1 절의 과정 3번에 표기되어 있는 식 (5)의 l을 1m, 2m, 5m로 변화시키며 수행한 적분 연산이다. 두 번째 블록은 첫 번째 블록의 적분 연산의 결과를 통하여 θ_{z_s}를 구하는 블록이다. 세 번째 블록은 구해진 θ_{z_s}를 이용하여 식 (6)에 따라 각도의 변화를 구하고, 식 (7)을 이용하여 수평거리를 계산하는 블록이다. 수평거리가 3000m일 때의 각각 블록의 연산 시간과 각 알고리즘의 총 연산시간을 표 1에 나타내었다.

표 1. l의 변화에 따른 각 수평거리계산 방법의 연산량 비교
Table 1. Comparision of calculation time with variation of l.

각도 추정 방법	Block1 (μsec)	Block2 (μsec)	Block3 (μsec)	합계 (μsec)
$l=1$	5696101	60015.31	32.76786	5756149
$l=2$	2920809	60112.56	17.06340	2980938
$l=5$	1490700	60146.26	7.416786	1550853

LUT	Block1 (μsec)	Block2 (μsec)	합계 (μsec)
$l=1$	94718.92	45.71964	94764.64

Ⅲ장에서의 LUT 방식을 통한 수평거리 측정 방법은 l을 1m로 하여 그림 3의 과정을 통해 만들어져 있는 LUT를 사용한다고 가정하고 두 블록으로 나누어 계산 시간을 측정하였다. 첫 번째 블록은 그림4를 통하여 만들어진 LUT에 수신기에 깊이에 해당하는 LUT 값을 호출하는 블록이다. 두 번째 블록은 호출된 LUT를 측정된 ToA 정보를 이용하여, 그림 5와 같은 방법으로 수평거리를 산출하는 블록이다.

각 수평거리계산 알고리즘의 거리에 따른 총 연산시간을 l의 변화에 따라 표 1에 나타내었다.

표 1을 통하여 각도 추정 방식이 LUT를 사용한 수평거리 계산 방식보다 연산량이 $l=1m$일 때 약 60 배, $l=2m$일 때 약 31배, $l=5m$일 때 약 16 배 많은 것을 볼 수 있다.

Ⅴ. 결 론

본 논문에서는 각도 추정을 통한 수평거리 계산과, LUT를 이용한 수평거리 추정 방법의 연산량과 성능을 비교하였다. LUT를 사용한 방식은 만들어진 ToA-수평거리 정보를 사용한다. 따라서, 실제 연산은 LUT 값을 호출하는 부분과 수신된 ToA와 LUT에 ToA-수평거리에 가까운 부분을 매핑하는 부분이다. 이는 적분 연산 후 각도의 변화를 구하고, 수평거리를 계산하는

각도 추정 방법에 비하여 매우 낮은 연산량을 보인다. 하지만 같은 l값으로 구간을 나누었다고 가정하고 성능 측면에서 보았을 때 LUT는 각도 추정 방식에 비해 특정 구간의 RMSE 값이 큰 것을 볼 수 있으며, 이는 수신기 위치 추정의 정확도의 열화와 직결된다. 따라서 LUT는 각도 추정 방식을 연산량과 정확도를 trade off 하여 빠른 연산량을 기대할 수 있는 방법이다. 또한 LUT 알고리즘에서 각도 구간을 나누어 추정하는 부분은 실제 연산에 반영되지 않으므로 l의 값을 작게 하여 구간을 조밀하게 나누어 LUT의 정확도를 높일 수 있다.

실제 수중 환경에서 움직임이 적은 물체를 추정할 때는 연산 속도보다 위치 추정의 정확도가 중요하지만, 실시간으로 추정하기 위하여 연산량은 중요한 고려 대상이 될 것이다. 이러한 경우에 본 논문의 3절에 나와 있는 성능과 연산량 표를 이용하여 LUT를 사용하는 환경과 조밀한 각도 추정을 통해 추정의 정확성을 올리는 기준을 마련할 수 있을 것이다.

REFERENCES

[1] 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, Mar. 2005

[2] E.Doukhnitch, M.Salamah, and E. Ozen, "*An efficient approach for trilateration in 3D positioning,*" Computer Communications, Vol. 31, No. 17, pp. 4124-4129, 2008.

[3] W. K. G. S. H.-P. Tan, R. Diamant, and M. Waldmeyer, "*A survey of techniques and challenges in underwater localization*," Elsevier J.Ocean Eng., vol. 38, pp. 1663 - 1676, Oct. 2011.

[4] V.Chandrasekhar,W.K.Seah,Y.S.Choo,andH.V.Ee, "*Localization in underwater sensor networks: Survey and challenges*," in Proc. 1st ACM Int. Workshop on Underwater Netw. (UWNet '06), Sep.2006, pp. 33 - 40.

[5] M.Erol-Kantarci,H.T.Mouftah, and S. Oktug, "*A survey of architectures and localization techniques for underwater acoustic sensor networks*," IEEE Commun. Surv. Tutor., vol. 13, no. 3, pp. 487 - 502, 2011.

[6] Hamid Ramezani, Hadi Jamali-Rad and Geert Leus, "*Target Localiztion and Tracking for an Isogradient Sound Speed Profile,*" IEEE transactions on signal processing, Vol 61, No. 6, MARCH 15, 2013.

[7] S.H.Moon, J.H.Cheon and H.K.Lee, "*Underwater acoustic ranging estimation algorithm using Look-up table*," The Summer Conference of Korea Information and Communications Society, 764-767, Jeju Island, Korea, June, 2014.

[8] M. B. Porter, "*The BELLHOP Manual and User's Guide: Preliminary Draft*," Heat, Light, and Sound Research, Inc., LaJolla, CA, USA, Tech. Rep., 2011 [Online]. Available: http://oalib.hlsresearch.com/Rays/HLS-2010 - 1.pdf

[9] Berger, C.R., Zhou, S., Willett, P., and Liu, L. (2008). "*Stratification effect compensation for improved underwater acoustic ranging*." IEEE Transactions on Signal Processing, 56(8), 3779 - 3783.

[10] M. Stojanovic and J. Preisig, "*Underwater acoustic communication channels: Propagation models and statistical characterization*,"IEEE Commun. Mag., vol. 47, no. 1, pp. 84 - 89, Jan. 2009.

저 자 소 개

천 주 현(학생회원)
2014년 홍익대학교 전자전기공학부 학사 졸업.
2014년~현재 홍익대학교 전자정보통신공학과 석사과정.
<주관심분야 : 채널코딩, 이동통신, 수중 위치 추정 시스템>

이 호 경(정회원)
1981년 서울대학교 전자공학과 학사 졸업.
1987년 Northrop Univ. 전자공학과 석사 졸업.
1994년 남가주대학교 전기공학과 박사 졸업.
1994년~현재 홍익대학교 전자전기공학부 교수
<주관심분야 : 채널코딩, TCM, Turbo TCM, 이동통신, 위성통신, 수중 위치 추정 시스템>

문 승 현(학생회원)
2013년 홍익대학교 전자전기공학부 학사 졸업.
2013년~현재 홍익대학교 전자정보통신공학과 석사과정.
<주관심분야 : 채널코딩, 이동통신, 수중 위치 추정 시스템>