

MFSK를 이용한 잠수정의 거리 및 방향 예측 알고리즘 구현

김시문* · 이관목* · 이종무* · 임용곤*
*한국해양연구원 해양개발시스템연구본부

Implementation of an Algorithm for the Estimation of Range and Direction of an Underwater Vehicle Using MFSK Signals

SEA-MOON KIM*, PAN-MOOK LEE*, CHONG-MOO LEE*, AND YONG-KON LIM*
*Ocean Development System Laboratory, KRISO/KORDI, Daejeon, Korea

KEY WORDS: Multi-Frequency Shift Keying (MFSK) 다주파수 천이 변조, Ultra Short Baseline(USBL) 초단기선, Underwater Vehicle 잠수정, Correlation 상관함수, Position Error 위치오차

ABSTRACT: KRISO/KORDI is currently developing a deep-sea unmanned underwater vehicle (UUV) system which is composed of a launcher, an ROV, and an AUV. Two USBL acoustic positioning systems will be used for UUV's navigation. One is for the deep sea positioning of all three vehicles and the other is for AUV's guidance to the docking device on the launcher. In order to increase the position accuracy MFSK(Multiple Frequency Shift Keying) broadband signal will be used. As the first step to the implementation of a USBL system, this paper studies USBL positioning algorithm using MFSK signals. Firstly, the characteristics of MFSK signal is described with various MFSK parameters: number of frequencies, frequency step, center frequency, and pulse length. Time and phase delays between two received signals are estimated by using cross-correlation and cross-spectrum methods. Finally an USBL positioning algorithm is derived by converting the delays to difference of distances and applying trigonometry. The simulation results show that the position accuracy is improved highly when both cross-correlation and cross-spectrum of MFSK signals are used simultaneously.

1. 서 론

수중에서의 위치제어, 탐사 및 관측, 자원 채집 등의 수중 작업을 수행하기 위해서 정밀한 항법시스템이 요구되고 있으며 현재 이용되고 있는 수중 항법시스템은 크게 관성센서를 이용한 관성 항법시스템과 수중음향 항법시스템으로 구분할 수 있다 (Milne, 1980). 여기서 관성 항법시스템은 각속도, 가속도 등을 측정하여 위치를 계측하는 방법으로 장시간동안 이용하는 경우 누적 오차가 점점 증가하여 정확도가 떨어지는 단점이 존재한다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 도플러속도계(Doppler velocity log) 등을 보조센서로 이용한 개선된 복합 항법시스템이 제안되고 있다(이종무 외, 2003). 반면 수중음향 항법시스템은 음파속도를 알고 있어야 하는 어려움이 존재하나 절대위치를 바로 예측하기 때문에 장시간 운용해야하는 잠수정이나 관측장비에는 반드시 필요한 항법 시스템이다.

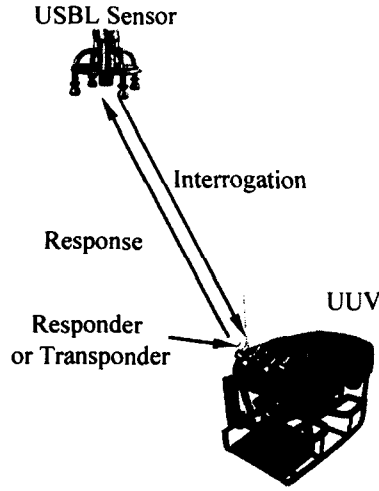
수중음향 항법시스템은 그 사용 범위 및 정밀도에 따라 장기선(long baseline; LBL), 단기선(short baseline; SBL), 초단기선(super-short baseline; SSBL 또는 ultra-short baseline; USBL) 시스템으로 구분되어지는데 (Vickery, 1998), 이중 장기

선과 단기선 시스템은 넓은 영역에서 다수의 센서를 이용하여 시스템 운용이 복잡하다는 단점이 있는 반면 일정한 정밀도를 기준으로 넓은 범위에서 사용할 수 있다는 특징이 있다. 초단기선 시스템은 센서 어레이에 입사되는 음파의 위상차를 이용하여 각도를 예측하므로 외부 잡음에 민감하며 센서에서 멀어질수록 정밀도가 감소하는 특징이 있으나 센서에 근접한 위치에서는 높은 정밀도로 위치 예측이 가능하므로 특정한 범위 내에서만 큰 정밀도를 요구하는 경우에 적합한 시스템이라 할 수 있다.

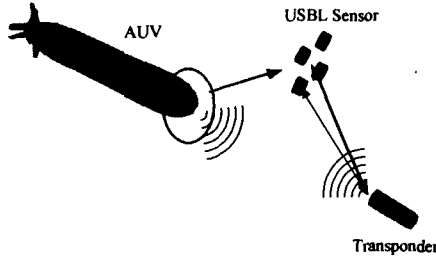
현재 한국해양연구원의 해양개발시스템연구본부에서는 심해진수장치(launcher), 원격무인잠수정(remotely operated vehicle; ROV), 자율무인잠수정(autonomous underwater vehicle; AUV)으로 이루어진 차세대 심해용 무인잠수정 개발을 진행 중에 있으며 수중 초음파 항법시스템으로 USBL 시스템을 사용할 예정이다. 또한 AUV는 심해에서 임무 수행 후에 앞에 장착예정인 USBL 시스템을 이용하여 심해진수장치에 도킹하여 회수할 예정이다 (이관목 외, 2002). 도킹시스템은 결합부 근처에서 큰 정밀도를 요구하므로 USBL이 최적의 방법이라 할 수 있다.

USBL에 대한 연구는 꾸준히 진행되어 왔다. 1990년대 말에 USBL의 성능을 증가시키기 위한 연구가 수행되었으며 (Jourdan and Brown, 1997, Watson et. al., 1998) 실험역에서의 보정방법에 대한 연구도 수행되었다 (Opderbecke, 1997). 단일주파수를 이용하는 방법에서 벗어나 칩(chirp) 신호나

제1저자 김시문 연락처: 대전시 유성구 유성우체국사서함23호
042-868-7275 smkim@kriso.re.kr



(a) USBL system for the acoustic navigation of the UUV



(b) USBL system for the docking of the AUV

Fig. 1 UUV's USBL navigation systems

MFSK 신호 등의 넓은 주파수 성분을 이용하는 스프레드 스펙트럼 방법도 제시되었으며(Austin, 1994) 상용제품도 나오고 있는 실정이다(Nautronix, Ixsea-Oceano). 스프레드 스펙트럼 방법은 넓은 주파수 범위를 사용하므로 코드화된 데이터를 전송할 수 있는 장점이 존재하여 잠수정의 위치 추적을 위해 널리 사용되고 있다.

본 논문에서는 스프레드 스펙트럼 방법의 하나인 MFSK 신호를 이용하여 USBL 위치추적 알고리즘을 구현하고자 한다. 최근에 수심을 알고 있다는 가정 하에 방향만 예측하여 위치를 예측하는 알고리즘에 대한 수치해석 연구가 수행되었으나(김시문 외, 2004) 심도계가 필요하다는 단점이 존재한다. 본 연구에서는 거리를 동시에 예측하여 3차원 위치추적이 가능한 USBL 알고리즘을 구현하고 수치해석을 통한 검증을 수행하고자 한다.

2. MFSK 신호의 특성

2.1. MFSK 신호의 정의

MFSK는 주파수 천이 변조방식으로서 본래는 디지털 통신에서 정보전달을 위해 사용되는 변조기법 중의 하나이다

(Proakis, 2001). MFSK 신호는 여러 주파수를 갖는 순음 성분의 조합으로 이루어져 있으며 이를 수식으로 표현하면 식 (1)과 같다.

$$p(t) = \begin{cases} \sin(2\pi f_1 t + \phi_1) & t_0 < t < t_1 \\ \sin(2\pi f_2 t + \phi_2) & t_1 < t < t_2 \\ \vdots & \vdots \\ \sin(2\pi f_N t + \phi_N) & t_{N-1} < t < t_N \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

식 (1)에서 알 수 있듯이 MFSK 신호의 특성을 대표하는 변수로는 주파수 성분의 개수 N , 각 성분의 주파수 f_1, f_2, \dots, f_N 및 각 성분의 신호길이 $T_i = t_i - t_{i-1}$ 등이 있다. 이때 MFSK 신호의 중심주파수 f_c , 주파수 폭 f_{band} 총 펄스길이 T 는

$$f_c = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f_i \quad (2)$$

$$f_{band} = N \Delta f \quad (3)$$

$$T = \sum_{i=1}^N T_i \quad (4)$$

와 같이 표현된다. 본 연구에서는 각 성분의 주파수가 일정한 간격 Δf 를 가지고 증가하며 ($f_i = f_1 + (i-1) \times \Delta f$), 각 성분의 길이 또한 일정한 신호($T_i = \Delta T$)에 한정하고자 한다.

2.2. 자기상관함수

MFSK 신호가 위치추적 시스템에 사용되는 주된 이유는 바로 자기상관함수 $R(\tau)$ 의 값이 $\tau=0$ 에서 작은 폭으로 가장 큰 값을 가져 시간지연의 측정이 용이하기 때문이다. 즉 같은 파형을 갖는 두 개의 신호가 τ_0 의 시간차를 갖는 경우 상호상관함수의 최대값은 $\tau = \tau_0$ 에서 얻어지므로 시간지연의 예측이 가능하다(Bendat and Piersol, 1986). USBL 알고리즘의 정밀도는 시간지연 예측 성능에 좌우되므로 MFSK 신호의 변수에 따른 자기상관함수의 특성 변화를 살펴볼 필요가 있다.

Fig. 2는 주파수 개수의 변화에 따른 자기상관함수를 나타내며 아래 그림은 시간지연 영역에서 확대하여 나타낸 그림이다. 다이아몬드 형상의 포락선 폭은 $\tau_{band} = 2\Delta T$ 와 같으며 따라서 N 이 증가할수록 포락선 폭이 감소하는 것을 알 수 있다. 또한 음파군 사이의 간격은 $\tau_d = 1/\Delta f$ 와 같다. 시간지연 예측 성능은 진폭의 최대값과 두번째 최대값과의 비 $r = A_1/A_2$ 에 좌우되며 r 이 클수록 예측 성능이 우수하다. 포락선의 크기는 선형적으로 감소하므로

$$r = 1 - \frac{\tau}{\Delta T} \Big|_{\tau=\tau_d} \quad (N^2 < T f_{band}) \quad (5)$$

$$= 1 - \frac{N^2}{T f_{band}}$$

와 같으며 따라서 N 이 클수록 시간지연 예측 성능은 증가한다.

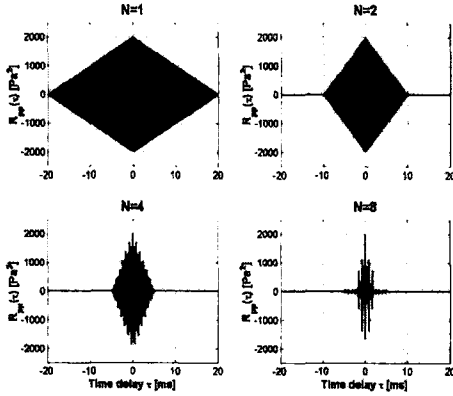


Fig. 2 Auto-correlation of MFSK signals with various N ($f_c = 15\text{kHz}$, $f_{band} = 10\text{kHz}$, $T = 20\text{ms}$)

Fig. 3은 중심주파수의 변화에 따른 자기상관함수를 나타낸다. 포락선 폭과 음파군 사이의 간격에 차이는 전혀 없으며 신호의 반송주파수(carrier frequency)만이 증가하는 특성을 가진다. 따라서 중심주파수의 변화가 시간지연 예측에 미치는 영향은 주파수에 따른 배경잡음, 전파 손실 등의 환경에 의해서만 좌우된다.

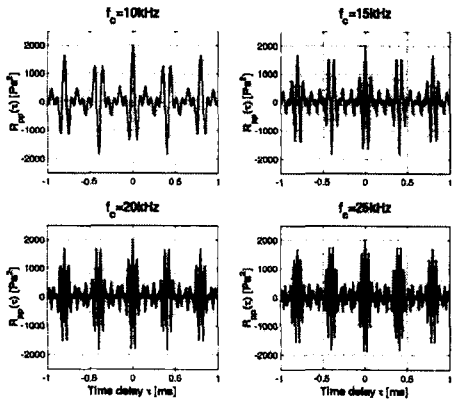


Fig. 3 Auto-correlation of MFSK signals with various f_c ($N = 4$, $f_{band} = 10\text{kHz}$, $\Delta f = 2.5\text{kHz}$, $T = 20\text{ms}$)

Fig. 4는 주파수 간격의 변화에 따른 자기상관함수를 나타낸다. 음파군 폭은 $\tau_{band} = 2/f_{band}$ 와 같으며 따라서 Δf 가 증가할수록 τ_{band} 가 작아지므로 음파군 폭 내에서의 데이터만을 이용하는 경우 시간지연 예측 성능은 증가한다. 그러나 식 (5)에서 Δf 가 증가하면 진폭비 r 도 1에 가까워지므로 시간 지연 예측에 오차가 생길 가능성이 높아진다.

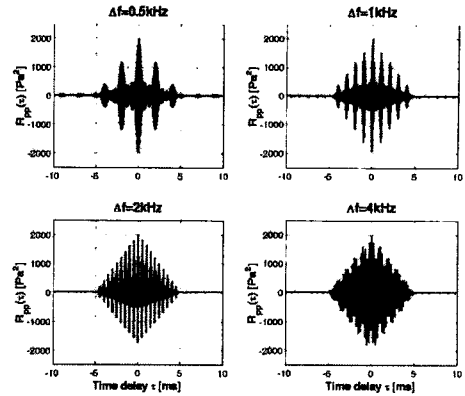


Fig. 4 Auto-correlation of MFSK signals with various Δf ($N = 4$, $f_c = 15\text{kHz}$, $T = 20\text{ms}$)

Fig. 5는 펄스폭 T 의 변화에 따른 자기상관함수를 나타낸다. ΔT 도 같이 증가하므로 포락선 폭도 증가하며 자기상관함수의 최대값도 비례하여 증가한다. 진폭비 r 은 식 (1)과 같으므로 T 가 증가함에 따라 예측 성능은 감소한다.

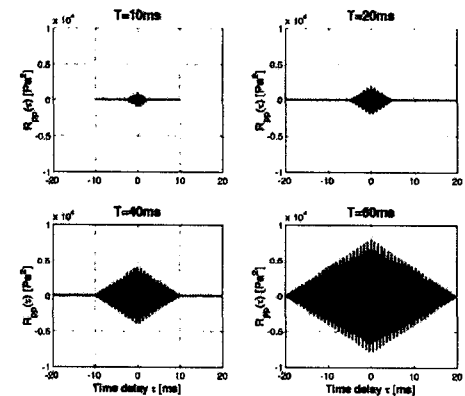


Fig. 5 Auto-correlation of MFSK signals with various T ($N = 4$, $f_c = 15\text{kHz}$, $f_{band} = 10\text{kHz}$, $\Delta f = 2.5\text{kHz}$)

2.3. 자기스펙트럼

해중에 잡음이 전혀 존재하지 않으며 산란이나 흡음이 전혀 없는 경우에는 2.2절에서 살펴본 바와 같은 예측성능을 나타낸다. 그러나 실해역에서는 많은 잡음이 존재하므로 음압 준위는 배경잡음 준위보다 높은 값을 가져야하는 것은 주지의 사실이다. 본 절에서는 배경잡음이 MFSK 신호를 이용한 시간지연의 예측 성능에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 MFSK의 특성변수에 따른 자기스펙트럼을 살펴보고 있다. 모든 결과는 반송주파수의 약 10배에 해당하는 200kHz의 표본주파수(sampling frequency)를 사용하였다.

Fig. 6은 주파수 개수의 변화에 따른 자기스펙트럼을 나타내며 각 그림은 선형 좌표계와 지수 좌표계에서 표현하고 있다. 사용하는 주파수 개수만큼 피크가 나타나고 있으며 N 이 증가할수록 피크치의 준위가 감소하고 있다. 따라서 N 의 최대값은

배경잡음의 준위와 MFSK 신호의 준위에 의해 결정되어야 함을 알 수 있다.

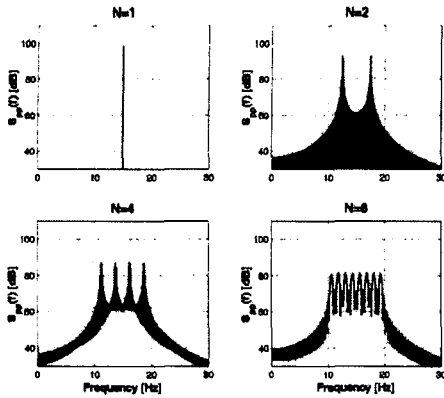


Fig. 6 Auto-spectrum of MFSK signals with various N ($f_c = 15\text{kHz}$, $f_{band} = 10\text{kHz}$, $T = 20\text{ms}$)

Fig. 7은 중심주파수의 변화에 따른 자기스펙트럼을 나타낸다. 중심주파수 이동에 따른 피크 주파수의 이동 현상이 관찰된다. 다른 차이점은 존재하지 않는다.

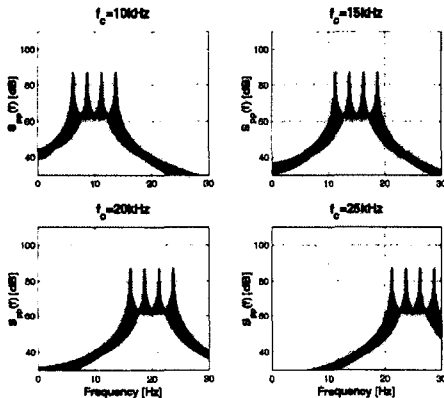


Fig. 7 Auto-spectrum of MFSK signals with various f_c ($N=4$, $f_{band} = 10\text{kHz}$, $\Delta f = 2.5\text{kHz}$, $T = 20\text{ms}$)

Fig. 8은 주파수 간격의 변화에 따른 자기스펙트럼을 나타낸다. 스펙트럼 관점에서는 피크 주파수 사이의 간격이 변화하는 것 이외의 차이점은 존재하지 않는다.

Fig. 9은 총 펄스폭 T 의 변화에 따른 자기스펙트럼을 나타낸다. 펄스폭의 증가에 따라 피크에서의 주파수폭이 감소하고 있으며 피크값도 증가하고 있다. 따라서 배경잡음이 높을수록 펄스폭도 크게 잡아야 함을 나타낸다. 그러나 T 값이 큰 경우에는 메모리와 계산량의 증가의 단점이 존재하므로 이를 고려한 T 값의 선택이 요구된다.

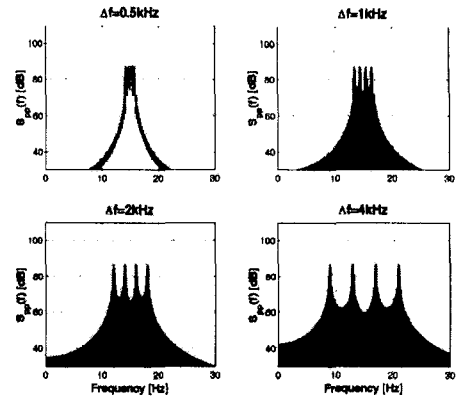


Fig. 8 Auto-spectrum of MFSK signals with various Δf ($N=4$, $f_c = 15\text{kHz}$, $T = 20\text{ms}$)

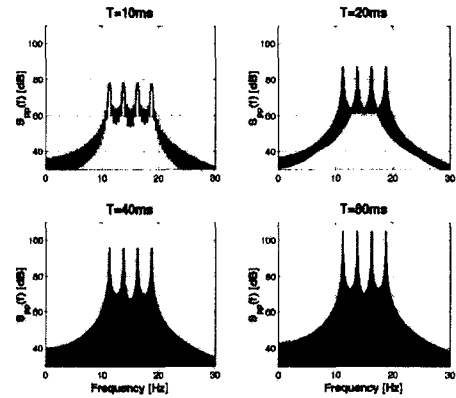


Fig. 9 Auto-spectrum of MFSK signals with various T ($N=4$, $f_c = 15\text{kHz}$, $f_{band} = 10\text{kHz}$, $\Delta f = 2.5\text{kHz}$)

3. 시간지연 예측

USBL 시스템의 위치추적 알고리즘을 구현하기 위해서 각 수신 센서에 도착하는 신호의 시간지연을 예측하는 것이 필수적이다. 본 장에서는 MFSK 신호로부터 시간지연을 예측하는 알고리즘 구현하고 수치해석을 통한 검증을 수행한다.

Fig. 10과 같이 송신 센서에서 $p_0(t)$ 의 MFSK 신호가 발생되며 송신 센서로부터 각각 r_1 과 r_2 만큼 떨어져 있는 경우 각각의 수신신호 $p_1(t)$ 과 $p_2(t)$ 는

$$p_1(t) = p_0(t - r_1/c) \quad (6)$$

$$p_2(t) = p_0(t - r_2/c) \quad (7)$$

과 같다. 이때 $p_1(t)$ 과 $p_2(t)$ 의 상호상관함수 $R_{12}(\tau)$ 는

$$R_{12}(\tau) = \int p_1(t) p_1(t+\tau) dt \quad (8)$$

$$= R_0(\tau + r_1/c - r_2/c)$$

와 같이 $p_0(t)$ 의 자기상관함수 $R_0(\tau)$ 로서 표현할 수 있다. $R_0(\tau)$ 는 $\tau=0$ 에서 최대값을 가지므로 $R_{12}(\tau)$ 는 $\tau_{12} - r_1/c + r_2/c = 0$ 에서 최대값을 가지며 따라서 $p_1(t)$ 에 대한 $p_2(t)$ 의 시간지연 τ_R 은

$$\tau_R = (r_2 - r_1)/c = \tau_{12} \quad (9)$$

와 같이 표현된다. 또한 상호스펙트럼 $S_{12}(f)$ 는

$$S_{12}(f) = P_1^*(f) P_2(f)$$

$$= S_0(f) e^{-j2\pi f(r_2 - r_1)/c} \quad (10)$$

과 같이 $p_0(t)$ 의 자기스펙트럼 $S_0(f)$ 로서 표현이 가능하므로 위상의 변화를 측정하여 시간지연 예측이 가능하다. 즉 주파수 f_1 과 f_2 에서의 위상을 각각 ϕ_1 과 ϕ_2 라 하면 $p_1(t)$ 에 대한 $p_2(t)$ 의 시간지연 τ_S 은

$$\tau_S = (r_2 - r_1)/c = -\frac{\phi_2 - \phi_1}{2\pi(f_2 - f_1)} \quad (11)$$

과 같이 구해진다.

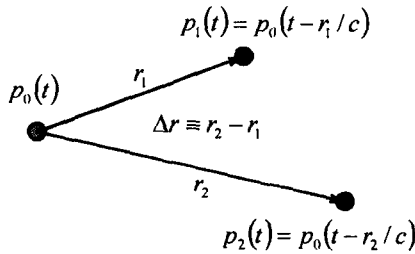


Fig. 10 Configuration of numerical simulation for the estimation of time delay

Fig. 11은 $r_1 = 20m$ 이고 $r_2 = 20.1m$ 인 경우의 상호상관함수와 상호스펙트럼을 나타낸다. 상호상관함수의 최대값은 $\tau = 65\mu s$ 에서 나타나며 이는 실제값 $\tau = 66.67\mu s$ 과 비교하여 2.5%의 상대오차를 가진다. 이는 200kHz의 표본주파수로 인하여 나타나는 오차이다. $f_1 = 11.25kHz$, $f_2 = 13.75kHz$, $f_3 = 16.25kHz$, $f_4 = 18.75kHz$ 에서 상호스펙트럼의 위상은 각각 $\phi_1 = 90.00^\circ$, $\phi_2 = 30.00^\circ$, $\phi_3 = -30.00^\circ$, $\phi_4 = -90.00^\circ$ 로서 예측 시간지연은 $\tau = 66.66\mu s$ 가 나온다. 이때 상대오차는 0.015%로서 상호상관함수를 이용한 결과보다 정확함을 알 수 있다.

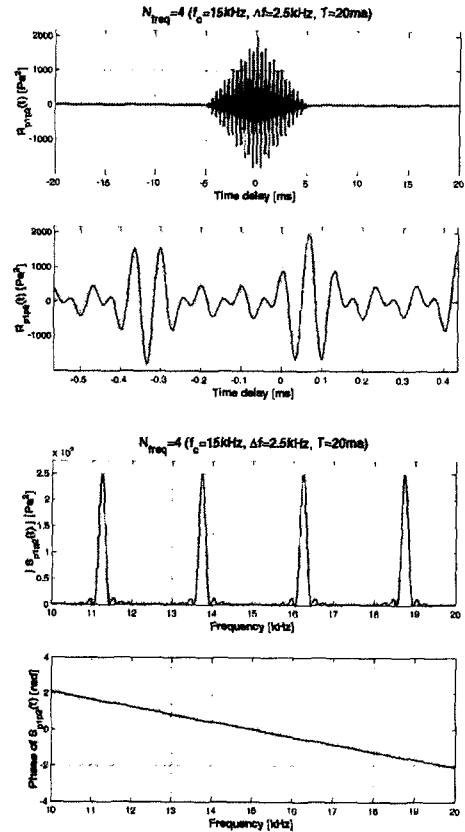


Fig. 11 Cross-correlation and cross-spectrum of received signals at close tow points ($N=4$, $f_c=15kHz$, $\Delta f=2.5kHz$, $T=20ms$, $r_1=20m$, $r_2=20.1m$, $f_s=200kHz$, $c=1500m/s$)

Fig. 12는 $r_1 = 20m$ 이고 $r_2 = 30m$ 로서 Fig. 11보다 큰 시간지연 차를 가지고 경우이다. 상호상관함수로부터 얻은 시간지연은 $\tau = 6665\mu s$ 로서 실제값 $\tau = 6666.67\mu s$ 와 $\tau = 1.67\mu s$ 차이를 보인다. 상호스펙트럼을 결과를 이용하는 경우 $\phi_1 = 0.00^\circ$, $\phi_2 = 120.00^\circ$, $\phi_3 = -120.00^\circ$, $\phi_4 = 0.00^\circ$ 이므로 시간지연은 $\tau = 133.33\mu s$ 가 나와 실제값과 큰 차이를 보인다. 이는 위상이 표현할 수 있는 범위가 0° 부터 360° 사이이므로 이 범위를 벗어나는 경우를 표현할 수 없기 때문이다.

위의 문제를 해결하기 위한 한 방법으로 연속위상보정 (unwrap)을 생각할 수 있으나 일반적으로 f_1, f_2, f_3, f_4 의 위상은 잡음에 의해 구할 수 없으므로 연속위상보정방법은 본 알고리즘에는 적용할 수 없다. 그러나 상호상관함수를 이용하는 경우 보정된 위상의 범위 예측이 가능하다. 즉 상호상관함수에 의한 시간지연 τ_R 과 상호스펙트럼에 의한 시간지연 τ_S 와

$$\tau_R \approx \tau_S + 2\pi M \quad (M \text{ 은 정수}) \quad (12)$$

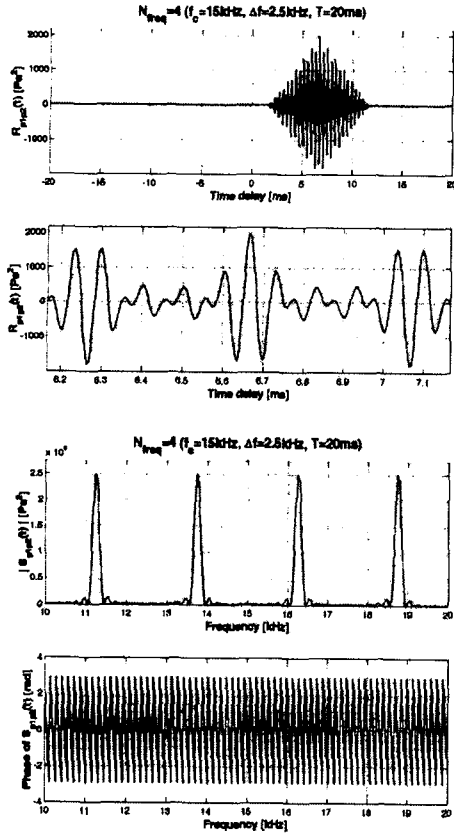


Fig. 12 Cross-correlation and cross-spectrum of received signals at close tow points ($N=4$, $f_c=15\text{kHz}$, $\Delta f=2.5\text{kHz}$, $T=20\text{ms}$, $r_1=20\text{m}$, $r_2=30\text{m}$, $f_s=200\text{kHz}$, $c=1500\text{m/s}$)

의 관계가 있으므로 식 (12)로부터 M 을 구한 후보정된 위상 τ_S' 를

$$\tau_S' = -\frac{\phi_2 - \phi_1}{2\pi(f_2 - f_1)} + 2\pi M \quad (13)$$

와 같은 관계식에 의해서 구할 수 있다. 식 (13)에 의해서 시간 지연을 예측하면 실제값과 같은 $\tau_S' = 6666.67\mu\text{s}$ 를 얻어 정확한 예측이 가능하다.

4. USBL 위치추적

앞 절에서 유도한 시간지연 수식을 적용하여 USBL 위치추적 알고리즘을 구성하였다. USBL 시스템은 Fig. 13에서 보는 바와 같이 x 및 y 축 상에 각각 2개씩 모두 4개의 수신센서로 구성되어 Posidonia 6000과 같은 구성을 갖도록 하였으며 센서의 간격은 $2d=58\text{cm}$ 이다 (Ixsea-Ocean). 잠수정의 항적은 직선운동 및 원운동을 하는 경우로 가정하였으며 시간에 따른 잠수정의 위치좌표는 Table 1에 나타내었다. MFSK신호는 $N=4$, $f_c=15\text{kHz}$, $\Delta f=2.5\text{kHz}$, $T=20\text{ms}$ 인 신호를 사용하였으며 표본주파수는 200kHz 를 사용하였다.

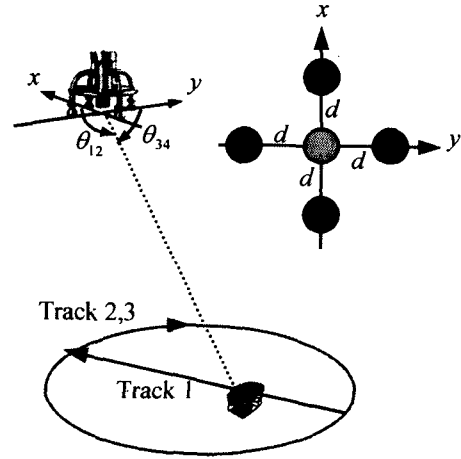


Fig. 13 Configuration of numerical simulation for the USBL underwater acoustic positioning system

Table 1 Cartesian coordinates of the underwater vehicle for the acoustic positioning simulation

Variables	Track 1	Track 2	Track 3
x [m]	$-100+vt$	$r \times \cos(vt/r)$	
y [m]	100	$y_0 + r \times \sin(vt/r)$	
z [m]	6000	6000	1000
v [m/s]	1	1	1
y_0 [m]		100	1000
r [m]		100	100

본 USBL 시스템의 위치추적 과정은 다음과 같다.

- 1) MFSK 신호를 이용한 수신신호 생성
- 2) 원신호와 각 센서 신호 사이의 상호상관함수 예측
- 3) 각 센서까지의 시간지연의 평균치를 이용한 거리 예측
- 2) 1번 2번 센서 사이의 상호상관함수와 상호스펙트럼 예측
- 3) 3번 4번 센서 사이의 상호상관함수와 상호스펙트럼 예측
- 4) 상호상관함수 및 상호스펙트럼을 이용한 시간지연 예측
- 5) 시간지연을 이용하여 입사각 예측

$$\theta_{12} = \cos^{-1}(-cr_{12}/2d) \quad (14)$$

$$\theta_{34} = \cos^{-1}(-cr_{34}/2d) \quad (15)$$

- 6) 거리 및 입사각으로부터 3차원 좌표 계산

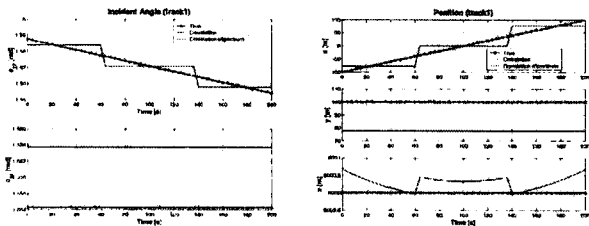
$$x = R\cos(\theta_{12}) \quad (16)$$

$$y = R\cos(\theta_{34}) \quad (17)$$

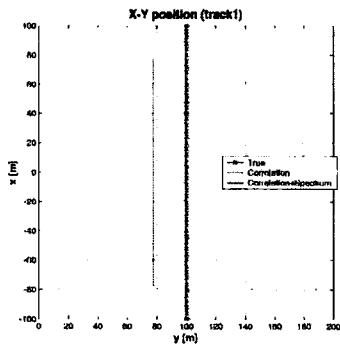
$$z = \sqrt{R^2 - x^2 - y^2} \quad (16)$$

Figs. 13~15는 각 항적별로 수행한 시간지연 측정값과 좌표 값 그리고 x - y 평면에 투영한 항적을 나타내고 있다. 상호상관함수를 이용하여 예측한 항적에는 큰 오차를 보이고 있으며 이는 수심이 깊을수록 더 크게 나타난다. 상호상관함수와 상호

스펙트럼을 동시에 이용하는 경우에는 오차가 거의 존재하지 않는다.

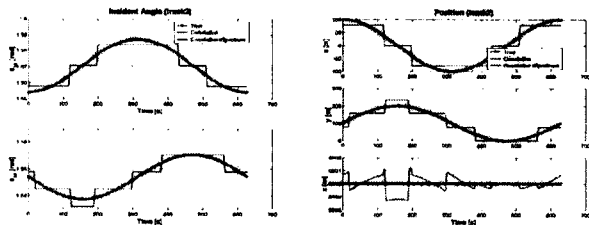


(a) Time delay (b) Cartesian coordinates

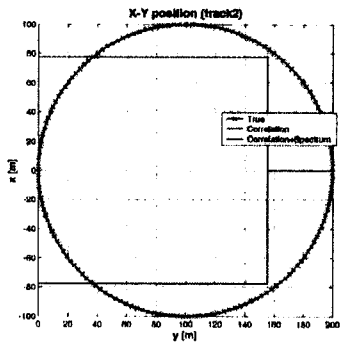


(c) Position in x-y plane

Fig. 13 Simulation results of the USBL underwater acoustic positioning system (track 1)

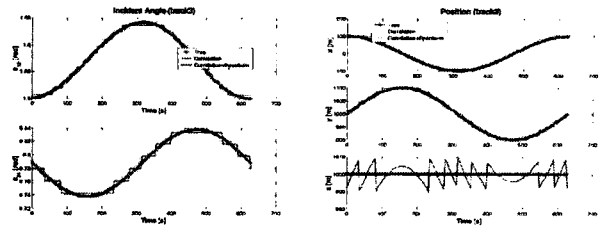


(a) Time delay (b) Cartesian coordinates

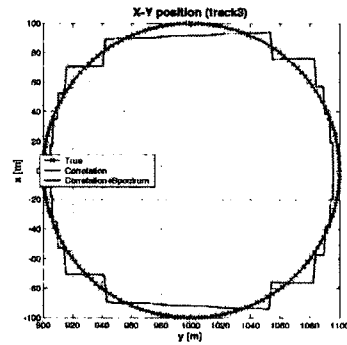


(c) Position in x-y plane

Fig. 14 Simulation results of the USBL underwater acoustic positioning system (track 2)



(a) Time delay (b) Cartesian coordinates



(c) Position in x-y plane

Fig. 15 Simulation results of the USBL underwater acoustic positioning system (track 3)

5. 결론

본 연구에서는 차세대 심해용 무인잠수정 시스템에 사용될 USBL 시스템의 알고리즘을 구현하고 수치해석을 통한 검증을 수행하였으며 이때 USBL 센서는 네 개의 십자형으로 구성되었다고 가정하였다. 스프레드 스펙트럼 신호인 MFSK 신호를 사용하였으며 수신 신호의 상호상관함수와 상호스펙트럼을 이용하여 시간지연을 예측한 후 위치를 계산하였다. MFSK의 신호특성을 살펴본 결과 사용하는 주파수의 개수가 증가할수록 주파수 간격이 클수록 예측성능이 증가하는 것을 알 수 있었으며 잡음에 강한 시스템을 구현하기 위해서는 펄스폭의 증가가 필요함을 알 수 있었다. 시간지연 예측 방법으로는 상호상관함수보다 상호스펙트럼을 이용하는 방법이 정확하며 두 방법을 동시에 이용하는 경우 상호스펙트럼 예측에서 나타나는 엘리어싱 오차를 방지할 수 있었다. USBL 수치해석을 수행한 결과 두 방법을 모두 사용하는 경우 정확한 위치 예측이 가능함을 알 수 있었다.

6. 후기

본 논문은 해양수산부의 지원으로 한국해양연구원에서 수행한 “차세대 심해용 무인잠수정 개발” 연구결과와 한국해양연구원에서 기본연구사업으로 수행중인 “해양개발을 위한 설계 엔지니어링 기술고도화” 사업의 일부임을 밝힌다.

참 고 문 헌

- 김시문, 이판목, 이종무, 임용곤, (2004). "MFSK를 이용한 USBL 시스템의 위치추적 알고리즘 구현", 선박해양기술 제 38호.
- 이종무, 이판목, 김시문, 홍석원, 서재원, 성우제, (2003). "반자율 무인잠수정의 수중 복합항법 시스템 성능평가를 위한 회진 팔 시험", 한국해양공학회지, 제 17권, 제 4호, pp. 73-80.
- 이판목 외, (2002). 차세대 심해저 무인잠수정 개발, 한국해양연구원 연구보고서 UCM0250-2368.
- Austin, T. C., (1994). "The application of spread spectrum signaling techniques to underwater acoustic navigation," Proceedings of 1994 Symposium on Autonomous Underwater Vehicle Technology, pp. 443-449.
- Bendat, J. S. and Piersol, A. G., (1986). "Random Data - Analysis and Measurement Procedures", 2nd Ed., pp. 118-120, John Wiley & Sons, Singapore.
- Ixsea-Oceano, Posidonia 6000 Manual
- Jourdan, D. and Brown, B. (1997). "Improved navigation system for USBL users," IEEE Oceans Proceeding, pp. 727-735.
- Milne, P. H., (1980). "Underwater Engineering Surveys", Chap. 3, E. & F. N. Spon Ltd., London.
- Nautronix, AST II Manual
- Opderbecke, J. (1997). "At-sea calibration of a USBL underwater vehicle positioning system," IEEE Oceans Proceeding, pp. 721-726.
- Proakis, John G., (2001). "Digital Communications", Chap. 4, McGraw-Hill, New York.
- Vickery, (1998). "Acoustic Positioning System: a practical overview of current systems", Oceans 1998, pp. 5-17.
- Watson, M., Loggins, C. and Ochi, Y. T., (1998). "A new high accuracy super-short base line (SSBL) system," Proceedings of the 1998 International Symposium on Underwater Technology, pp. 210-215.