

이중 초점 빔 형성기를 사용한 수동형 거리 추정 기법의 성능

Performance of a Passive Ranging by Using Dual Focused Beamformers

김 준 환*, 양 인 식*, 김 기 만*, 오 원 천**, 김 인 익**, 천 승 용**
 (Jun-Hwan Kim*, In-Sik Yang*, Ki-Man Kim*, Won-Tchon Oh**,
 In-Ig Kim**, Seung-Yong Chun**)

*한국해양대학교 전파공학과, **국방과학연구소 수중음향신호처리연구실
 (접수일자: 2000년 11월 21일; 수정일자: 2001년 1월 26일; 채택일자: 2001년 2월 5일)

수중에서 음원까지의 거리를 추정하는 방법들이 연구되어 왔다. 그 가운데 초점 빔 형성기를 사용한 거리 추정 기법은 낮은 신호대 잡음비를 갖는 환경에서 우수한 성능을 갖는 것으로 알려져 있으나 다중 음원 환경에서는 성능 저하가 초래된다. 이에 본 논문에서는 두 개의 초점 빔 형성기를 사용하여 거리를 추정하는 방법을 제안하였다. 또한 표본화 주파수가 낮으면 초점 빔 형성기를 정확하게 원하는 위치로 지향할 수 없기 때문에 빔 패턴의 왜곡이 발생하게 되고, 그 결과 거리 추정 기법의 성능 저하를 초래한다. 그리고 이 논문에서는 표본화 주파수가 초점 빔 형성기를 이용하는 거리 추정 기법에 미치는 영향에 대해서도 고찰하도록 한다. 시뮬레이션을 통해 연구된 내용들을 검증하였다.

핵심용어: 수동형 거리 추정, 초점 빔 형성기, 표본화율

투고분야: 수중음향 분야 (5.8)

The passive ranging estimation techniques using a focused beamformer have been studied under the water. It is well known that the passive ranging estimation method using a focused beamformer is excellently evaluated. Among these, the passive ranging sonar is known to have a good performance under low signal-to-noise ratio. However, its performance is degraded in multi-source environments. In this paper, we proposed the technique using dual focused beamformers to estimate the range. And when the sampling frequency is low, it is very difficult to steer the focused beam to the desired direction, as a result of this, the low performance occurs because of a distorted beam pattern. In this paper, we study the effect of sampling rate on passive ranging by using focused beamformer. And we verified the performance of the proposed method via computer simulation.

Key words: Passive ranging estimation, Focused beamformer, Sampling rate

Subject classification: Underwater acoustics (5.8)

I. 서 론

음원을 추적하는 문제에 있어서 그동안 여러 영역에서 발전을 이루어 왔다. 소나가 쓰이는 상황에서 해양환경의 불안정성은 음원 추적에 있어서 심각한 장애가 되고 있다. 지금까지 쓰여오고 있는 음원 거리 추정에 있어서 그 기법을 고찰해보면 기본적인 추정 시스템은 수동 시간 지연 측정치를 위한 비선형 입력 신호처리로 구성되어 있고 입력된 값을 음원 거리 측정치로 선형화시키는 변환기 역할을 한다. 이런 변환 과정으로부터 얻어지는 단점은 부가되는 측정 오차가 비 가우시안 임의 값이라는 것이다. 최적 거리 측정기는 음원의 거리와 거리비의 필

터링되고 일정한 값에 잡음 데이터를 처리한 Singer와 Marcov의 음원 모델링 이론에 의해 발전되어 왔다[1]. 수중에서 음원과의 거리를 추정할 때 주로 능동적인 방법을 사용하였으나 근거리 영역인 경우 수동적인 방법으로 음원과의 거리를 추정할 수 있다. 이러한 방법에는 wavefront-curvature 방법, 삼각 기법 및 빔 형성 기반 방법 등이 있다. 이중 빔 형성 기반 방법은 낮은 신호 대 잡음비를 갖는 수중 환경과 다중 음원 환경에서 다른 방법들보다 장점을 갖는다. 수동형 거리 추정 기법에 주로 쓰이는 방법중에서 삼각기법은 두 개의 어레이에서 가리키는 방향이 일치하는 지점이 음원의 위치정보를 가지고 있다는 것을 기반으로 하여 각각의 어레이에 들어오는 신호가 코히어런스함을 요구한다. Wavefront-curvature 기법은 세 개의 어레이를 사용하는 것으로 첫 번째 어레이와 중간 어레이의 시간 지연, 중간 어레이와 세 번째 어

레이의 시간 지연을 추정하는 것이다. 이 기법은 신호성분이 한 어레이로부터 다른 어레이까지 코히어런스함을 요구한다. 3개의 어레이 시스템에서 어레이 시스템을 2개로 가정한다면 즉 첫 번째와 중간 어레이 구성을 한가지, 중간 어레이와 세 번째 어레이 구성을 다른 하나로 본다면 wavefront-curvature 기법의 거리 추정 방정식과 같은 형태를 형성한다[2]. 다중음원이 존재할 경우에 음원들이 어레이 중심으로부터 동일한 방향이고 근접해 있을 경우 단일 빔 형성기로는 모호 영역속에 음원이 위치하게 되고 음원들의 분해능력이 떨어지게 되고 근접해 있지 않은 경우에도 다중 음원 분해능이 저하됨에 따라 하나의 음원만을 추적하는 결과를 보인다.

본 논문에서는 어레이 중심을 기준으로 좌우로 분리하여 빔 형성기를 구성한다. 음원의 방향은 이미 알고 있다고 가정하고 어레이의 중심을 기준으로 정한다. 따라서 빔 형성기를 좌측과 우측으로 분리하여 각각 좌측 빔 형성기와 우측 빔 형성기로 부르기로 한다. 이러한 빔 형성기는 delay-and-sum 방식의 conventional 빔 형성기로 구성하고 특히 근거리 영역에서 음원의 위치를 추적하므로 초점 빔 형성기를 사용하였다. 그러나 초점 빔 형성기는 파장에 따른 거리의 비율에 따라 방향 추정 오차와 부엽 레벨 증감에 민감한 영향을 끼치므로 원거리 영역에서 만들어진 빔 패턴과 유사한 빔을 만들기 위해 보상된 초점 빔 형성기를 사용한다. 음원의 방향은 이미 알고 있으므로 어레이 중간으로부터 음원 방향으로 가상의 직선을 만들어 거리에 따른 방향별로 빔을 좌·우측 빔 형성기로부터 만들어낸다. 일정한격으로 근거리에서 원거리로 좌·우측 빔 형성기로부터 만들어진 각 빔들은 음원이 위치해 있는 지점에서 음원 출력의 최대 파워 값을 갖게 되고 빔 패턴을 중심으로 좌·우측 빔 형성기가 추적한 방향부분의 교차지점에 해당되는 빔 패턴의 합성된 결과에서 최대값을 갖는 지점을 음원이 위치한 거리로 추정한다. 그러나 표본화 주파수가 높지 않은 경우 시간 지연을 조절할 수 있는 해상도가 감소하고 그 결과 원하는 위치를 정확하게 지향할 수 없으며, 아울러 왜곡된 빔 패턴을 나타내게 된다. 따라서 거리 추정 기법의 성능을 저하시키게 됨에 따른 표본화 주파수가 초점 빔 형성기를 이용하는 거리 추정 기법에 미치는 영향에 대해서 고찰하도록 한다. 연구된 내용은 시뮬레이션을 이용하여 그 효용성을 증명하였다.

II. 수동형 거리 추정 기법

2.1. Wavefront curvature 기법

기존에 음원 추적 알고리즘은 비선형성의 지연 시간 추정을 처리하는 EKF (Extended Kalman Filter)의 기법을 광범위하게 이용하였다[3][4]. EKF 이외에 비선형 신호 처리로 선형화시키는 접근 방법들이 Kalman type 병렬 신호 처리에 의해 구성된 것이다[5][6]. 음원 거리 추정 문제에 있어서 일반적으로 선택되어지는 추정기법은 수동 처리로 얻어지고 Hassab은 관측부로서 합측에 세 개

의 센서를 두는 경우를 고려하였다[7]. 그러나 합과 어레이의 물리적인 제한적 조건 때문에 센서를 구별하여 적당한 거리로 배치하는 것이 까다로운 문제이다. 통계적 그리고 분석적으로 센서 사이의 거리는 높은 잡음 환경에서는 거리가 가까울수록, 반대로 낮은 잡음 환경에서는 거리가 멀어질수록 좋은 추정 성능을 가지게 된다.

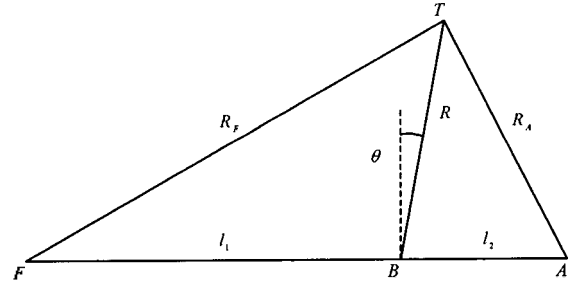


그림 1. Wavefront-curvature 방법
Fig. 1. Wavefront-curvature method.

그림 1은 시간 지연 분석에 이용되는 구조를 보여준다. "A"와 "B"는 합에 부착된 두개의 센서그룹을 나타내고 "F"는 전인 어레이의 센서를 나타낸다. l_1 은 전인 어레이와 센서 B사이의 거리를 나타내는 것으로 l_2 보다 훨씬 크다. R_F , R 그리고 R_A 는 음원으로부터 각 센서들까지의 신호의 직접경로들이다. 이 값들은 시간지연의 두 값을 측정할 수 있도록 만들어 준다. 첫 번째로 R_F 와 R 의 시간차는 음파전달 시간에 있어서의 차이 $\tau_1 = (R_F - R)/c$, R 과 R_A 사이의 음파 전달 시간차는 $\tau_2 = (R - R_A)/c$ 와 같다. 여기서 c 는 수중에서의 음파속도이다. 구하고자 하는 음원까지의 거리와 방향은 센서 B를 기준으로 측정하고 따라서 R 이 실제 거리가 된다. 그리고 θ 는 관측부로부터 수직축을 기준으로 한 음원에 대한 실제 방향이다. 소나에서 측정된 τ_1 , τ_2 와 음원까지의 거리 R , 방향 θ 사이의 관계를 정리하면 그림 1에서 τ_1 에 대한 삼각형 TFB, τ_2 에 대한 TBA를 코사인의 법칙을 이용하여 $\tau_1 = (R_F - R)/c$, $\tau_2 = (R - R_A)/c$ 와 같이 나타내고 τ_1 과 τ_2 에 대한 것은 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\tau_1 = \frac{-R + (R^2 + l_1^2 - 2Rl_1 \sin \theta)^{0.5}}{c} \text{ 초} \quad (1a)$$

$$\tau_2 = \frac{R - (R^2 + l_2^2 - 2Rl_2 \sin \theta)^{0.5}}{c} \text{ 초} \quad (1b)$$

식 (1a)와 (1b)는 R 과 θ 에 관한 τ_1 과 τ_2 의 비선형 대수적인 표현이다. τ_1 과 τ_2 를 측정된 입력 매개 변수로서 시간 지연 τ_1 과 τ_2 에 대한 거리 (R)와 방향 (θ)로 구성된 식으로 (1a)와 (1b)로부터 다음과 같이 재정리한다.

$$cr_1 = -R + R(1 + \frac{f_1^2}{R^2} - \frac{2l_1}{R} \sin \theta)^{0.5} \text{ m} \quad (2a)$$

$$cr_2 = R - R(1 + \frac{f_2^2}{R^2} - \frac{2l_2}{R} \sin \theta)^{0.5} \text{ m} \quad (2b)$$

Taylor 급수 전개를 이용하고 고차항을 무시하면 다음과 같이 간략해진다.

$$cr_1 \approx -l_1 \sin \theta + \frac{1}{2} \frac{f_1^2}{R} \cos^2 \theta \quad (3)$$

$$cr_2 \approx -l_2 \sin \theta - \frac{1}{2} \frac{f_2^2}{R} \cos^2 \theta \quad (4)$$

이제 식 (3)과 (4)를 연립으로 풀면 다음과 같이 R과 θ 를 구할 수 있다.

$$R = \frac{l_1 l_2 (l_1 + l_2) \cos^2 \theta}{2c(l_2 \tau_1 - l_1 \tau_2)} \quad (5)$$

$$\theta = \sin^{-1} \left[\frac{c(l_2 \tau_1 + l_1 \tau_2)}{-l_1 l_2 (l_1 + l_2)} \right] \quad (6)$$

2.2. 초점 빔 형성 기반 기법

음원이 어레이로부터 무한한 거리상에 있다고 가정할 때 한 지점의 음원으로부터 전달되는 파동의 형태는 평면파이다. 이것은 빔 형성 처리 문제에 있어서 중요하고도 간결한 방법이다. 근거리 음원과의 거리를 추정하기 위해서 가정된 공통의 법칙은 $r < 2L^2/\lambda$ 의 식으로 표현된다. 즉, r 이내의 거리를 근거리, 바깥을 원거리로 가정한다. 여기서 r 은 어레이로부터 음원까지의 거리이며, L 은 어레이의 길이이며, λ 은 파장을 나타낸다[8][9]. 음파의 전달형태가 구면파인 환경에서 서로 다른 음파전달 지연 시간을 갖는 하이드로폰으로 구성된 어레이를 이용하여 신호처리를 하는 초점 빔 형성기의 경우 거리 r 과 방향 θ (어레이의 수직면을 기준)에서 신호에 대한 어레이 응답은 다음과 같다.

$$P_{out}(r, \theta) = \sum_{n=0}^{N-1} \omega_n \frac{r}{d_n(r, \theta)} e^{j2\pi f c^{-1}(d_n(r, \theta) - r)} \quad (7)$$

여기서 ω_n 은 n 번째 센서의 복소 가중치이고 f 는 주파수이며 c 는 수중에서의 음파 전달 속도이다. 음원으로부터 n 번째 센서까지의 거리를 나타내는 $d_n(r, \theta)$ 는 식(8)에서 표현된다.

$$d_n(r, \theta) = (r^2 + 2r(x_n - x_0) \sin \theta + (x_n - x_0)^2)^{0.5} \quad (8)$$

여기서 x_n 은 x_0 를 기준으로 한 n 번째 센서의 상대적인 거리이다. 이 기법은 단일 음원일 경우 탐지 능력에

있어서 철예한 빔폭 영향에 의해 모호성이 적고 음원 탐지 패턴에 있어서 주엽 대 부엽의 비율이 높아 좋은 성능을 가지고 있지만 동일한 방향에 다중 음원이 존재할 경우 다중 음원을 인식할 수 있는 분해능력이 없어 하나의 음원만을 탐지함으로써 수신단에서 단일 음원이 존재하고 있다는 오류를 가지게 된다.

III. 이중 초점 빔 형성 기반 거리 추정

그림 2는 이중 초점 빔 형성기를 이용해서 거리를 추정하기 위해 어레이를 각각의 부 어레이로 나누고 관심 영역을 등 간격의 셀로 나누어, 빔 형성기 출력과 음원에서 나오는 신호와의 연산과정을 거쳐 최대파워를 가지는 지점과의 거리를 추정함을 나타낸다. 즉 어레이를 좌측과 우측으로 나누어 근거리 영역에서 빔을 형성하게 된다. 음원의 방향과 어레이의 중간지점에 가상의 선을 그어 관심 있는 영역까지 일정한 간격의 셀로 나누어 빔을 형성하게 된다. 이 때, 음원으로부터 발산되는 신호와 빔 형성기의 출력 값을 연산하여 최대 값을 가지는 지점에서 거리를 추정하게 된다.

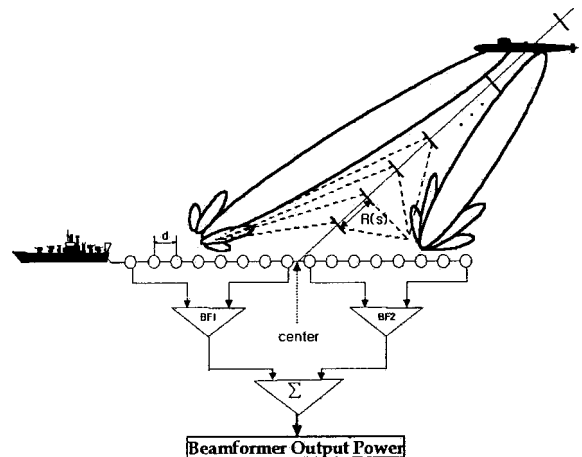


그림 2. 이중 초점 빔 형성기를 이용한 거리 추정
Fig. 2. Range Estimation using dual focused beamformer.

음원의 방향은 이미 알고 있다고 가정하여 어레이 중심에서 탐지 영역까지 가상의 선에 거리를 가진 하나의 단계가 $l[m]$ 인 S 개의 단계로 구성하였다. 어레이로부터 탐지영역 사이는 가시영역으로 약 $k[m]$ 를 두어 실제적으로 빔을 형성하는 거리는 어레이로부터 $k[m]$ 되는 지점을 기점으로 약 $(S-1) \cdot l + k[m]$ 영역까지 각 단계별로 빔을 형성한다. 좌·우측 빔 형성기로부터 같은 지점에 빔을 형성하여 얻은 결과는 다음과 같다.

$$P_{L \text{ or } R}(s) = P_{out}(s) \cdot G(s) \quad s = 1, \dots, S \quad (9)$$

여기서 P_{out} 은 빔 형성기의 이득을, s 는 각 단계를 나타낸다. $G(s)$ 는 음원의 출력 파워이다. 각 단계마다 얻

은 출력에서 최대값을 갖는 지점을 찾는 것은 다음 문제이지만 이것은 빔을 방향에 따라 형성하는 문제와 직결되므로 위 식을 가상의 선상에 단계를 두어 실제적으로 빔이 지향하는 방향을 각 단계에 해당하는 개수만큼 분해를 하면 거리가 멀어짐에 따라 몇 개의 단계들이 한 방향에 포함되고 이것은 다시 주 빔의 빔 폭에 많은 단계들을 포함하게 된다. 각각의 빔 형성기로부터 구한 출력 중에서 음원이 위치한 방향의 패턴을 합산함으로써 대략적인 추정거리를 구하게 된다.

$$P_{LR}(s) = P_L(\theta_\alpha(s_L)) + P_R(\theta_\beta(s_R)) \quad (10)$$

여기서 θ_α 와 θ_β 는 좌·우측 빔 형성기에서 검출한 최대 파워 방향이다. $1 \leq s_L \leq S$, $1 \leq s_R \leq S$ 의 영역에서 원거리로 갈수록 s_L 과 s_R 은 가까워지게 된다. $P_L(s_L)$ 과 $P_R(s_R)$ 은 방향별, 거리에 따라 갖는 빔 형성기 방향 1도 값에 해당되는 단계 개수만큼 존재한다. $P_L(\theta_\alpha)$ 과 $P_R(\theta_\beta)$ 는 최대 파워 출력지점에서 좌·우측 빔 형성기 출력 값이다. 실제로 P_{LR} 의 패턴은 같은 방향 성분에 대해 단계수가 많이 포함되므로 보간법을 적용하여 직선 성분의 정보를 적당한 합성 성분의 정보로 유도한다. 보간에 의해 얻어진 패턴은 다음과 같다.

$$P_f(s) = P_{LR}(s)L_0(s) + P_{LR}(s)L_1(s) + \dots + P_{LR}(s)L_n(s) \quad (11)$$

여기서 $L_i(s)$ 는 n 차 보간 과정의 다항식이다. 보간을 거친 후의 최대치를 추정 거리로 다음을 구하게 된다.

$$P_f(s_m) = \max\{P_f(s)\} \quad (12)$$

$$R_{app} = k + s_m \cdot l \quad (13)$$

결과적으로 구하고자 하는 거리 R_{app} 는 식 (13)과 같이 가지영역과 최대 파워에서의 단계수와 각 단계의 해당 거리에 관한 간단한 식으로 유도된다. 일반적으로 신호에 대한 주파수 스펙트럼 분석에서 연속 신호의 최고 주파수를 f_n [Hz]라고 할 때 표본화 주파수 f_s 는 $f_s \geq 2f_n$ 을 만족하여야 한다. 원 신호에 포함되어 있는 주파수 성분을 f [Hz]라 하면 $f \leq kf_s$ [Hz] ($k=1, 2, 3, \dots$)가 발생한다. 이와 역관계인 $f_s \leq 2f_n$ 인 경우의 주파수 스펙트럼 분석에서는 에일리어싱(aliasing)이 발생한다. 초점 빔 형성기를 원거리 빔 형성기로 사용할 때와 같은 비율로 표본화 주파수를 설정할 경우 낮은 해상도로 인해 음원 위치 추정에 있어 넓은 모호 영역을 발생시킨다. 따라서 초점 빔 형성기 적용에 있어 표본화 주파수 영향을 고려한 수동 거리 추정 기법이 연구되었다. 원거리 빔 형성기에서 표본화 주파수가 $f_s \geq 2\xi f_n$ (ξ 는 양의 정수)의 관

계로 구성되어 있다고 할 때 $\frac{f_s}{f_n} \geq 2\xi$ 만큼 증가시켰을 경우 결과적으로 수동 거리 추정 면에서 식 (14)는 다음과 같이 얻어지는데, 빔 형성 처리에 있어 방향에 대한 해상도 또한 증가됨을 알 수 있다.

$$P_{LR}\left(\frac{s}{\xi}\right) = P_L\left(\theta_\alpha\left(\frac{sL}{\xi}\right)\right) + P_R\left(\theta_\beta\left(\frac{sR}{\xi}\right)\right) \quad (14)$$

그러나 표본화 비율의 증가는 연산해야 할 데이터를 증가시키므로 연산처리 시스템의 고성능화 또는 이와 비슷한 원리인 보간을 적절하게 적용, 보간하여 표본화율에 따른 시스템의 성능 향상을 유도할 수 있다.

IV. 시뮬레이션 및 결과 고찰

모의 실험에 사용된 신호는 음원의 위치가 어레이로부터 약 1.9km거리 영역에서 44°방향일 때이다. 우선 전방적인 환경은 하이드로폰의 개수는 100개로 센서 사이의 간격은 3.75m, 따라서 총 어레이의 길이는 371.25m이다. 음원의 주파수는 200Hz로 저주파수로 가정을 하고 첨가된 잡음 성분은 가우시안 랜덤 신호이고 신호대 잡음 비는 -10dB이다. 일반적으로 어레이를 이용하여 근거리 표적 거리 추정영역은 어레이 길이의 10배로 알려져 있다. 좌·우측 빔 형성기에서 추정된 패턴의 합성 결과에서 얻어진 최대 파워 지점을 보간을 거친 후에 얻어진 결과로서 그림 3은 기존의 방법인 wavefront-curvature 방법과 초점 빔 형성기를 이용한 거리 추정의 성능을 비교한 것이다. ‘*’는 실제 거리, ‘x’는 기존의 wavefront-curvature 기법을 나타내고 있으며 ‘o’는 이중 초점 빔 형성기를 이용한 거리 추정 결과를 나타내고 있다. 관심 있는 영역을 0°부터 60°까지 15°간격으로 나누어 시뮬레이션 하였고, 거리를 약 1800[m]에서의 음원으로 가정하여 실시하였다. 기존의 wavefront-curvature 방법은 전혀 실제 음원 거리를 추정하지 못하는 결과를 보이며, 이에 비해 제안된 방법은 실제 음원 거리를 유사하게 추정하는 것을 볼 수 있다.

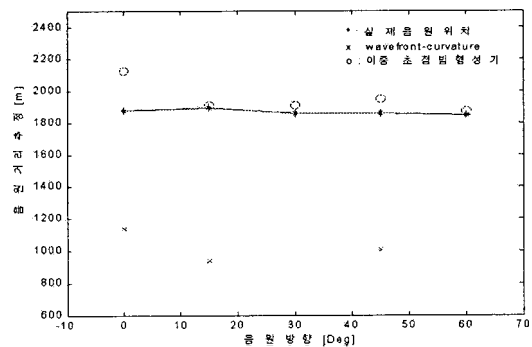


그림 3. 음원 위치 (방향)에 따른 거리 추정
Fig. 3. The points of range estimation according to positions of the sound source.

표본화율에 따른 차이를 분석하기 위해 표본화 주파수를 중심주파수의 2배, 6배, 10배, 14배로 하여 거리 추정 결과를 그림 4에 나타내었다. 'o'는 실제 거리로서 1858[m]이며, '*'는 추정된 거리를 나타낸다. 그림은 표본화율이 증가할수록 거리 추정 오차가 감소함을 보여주고 있으며, 그 이유는 표본화율이 높을수록 초점 빔 형성기의 빔 패턴상에서의 왜곡이 감소하기 때문이다. 그림 5는 단일 초점 빔 형성기와 이중 초점 빔 형성기의 비교를 나타내는 부분으로서 거의 동일한 방향을 가진 두 개의 음원은 거리에 있어 차이를 두고 환경이다. 시뮬레이션 환경은 위와 달리 어레이를 약 200개로 증가시켰고 따라서 어레이의 탐지 영역이 이전 환경에 비해 두 배가 증가된 약 8km로 설정되었다. 어레이가 늘어남에 따라 물리적인 운영면에서 제한은 있지만 음원 탐지 신호 처리에서 향상된 성능을 가지므로 단일 초점 빔 형성기와 이중 빔 형성기에 있어 동일한 성능 향상을 가진다. 두 음원의 방향은 약 43°로 동일하고 음원 1은 약 1470m에, 음원 2는 3524m에 위치해 있다고 가정하였다. 본문에서 설명한 바와 같이 다중 음원 환경에서 단일 초점 빔 형성기를 사용할 때는 음원들을 구분하여 추정하지 못하는 단점에 비해 이중 초점 빔 형성기를 사용할 때 고분해능에 의한 개별적인 수동 거리를 추정하고 있음을 보인다.

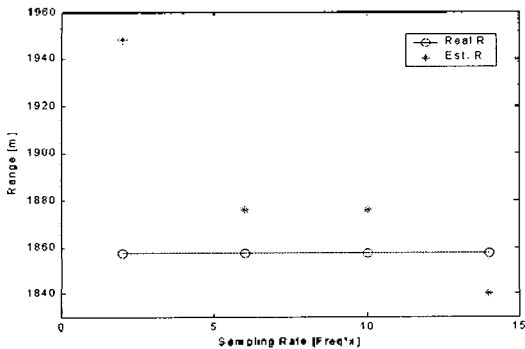


그림 4. 표본화율에 따른 수동 거리 추정
Fig. 4. Range estimation according to the sampling rate.

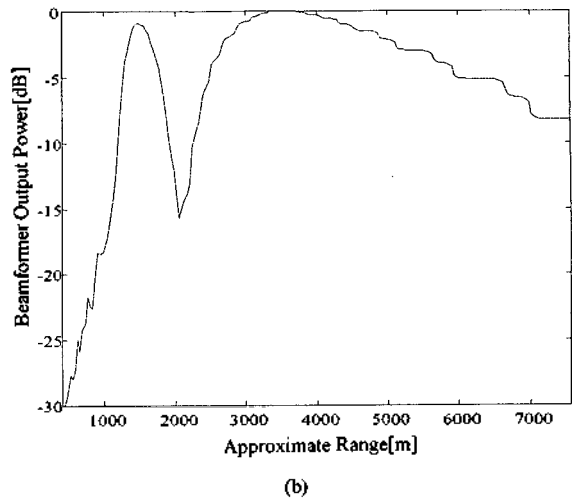
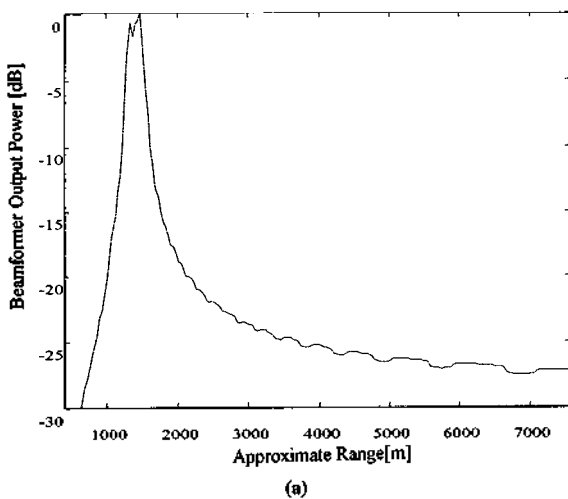


그림 5. 다중 음원 환경에서 음원 분해능력 비교
(a) 단일 초점 빔 형성기 (b) 이중 초점 빔 형성기
Fig. 5. The comparison of a resolution for multi-sound source using,
(a) Single focused beamformer,
(b) Dual focused beamformers.

V. 결 론

본 논문에서는 수동거리 추정을 위해 기존의 단일 초점 빔 형성기를 이용한 방법과 제안된 이중 초점 빔 형성기를 이용한 방법을 비교하였다. 또한 연구된 방법의 결과에서도 표본화율에 따른 성능을 비교, 고찰하였다. 연구된 방법은 선택한 센서 그룹간의 거리에 따라 불안정한 성능을 가지고 열악한 수중 환경으로 인하여 센서가 지정된 위치에 있지 않을 때 오차를 발생시키는 단점을 가지는 기존의 방법에 대하여 오차를 줄이고, 표본화율의 증가로 인해 모호 영역을 현저히 감소시켰다. 그러나 표본화율이 높을수록 특성이 좋아지지만 그에 따른 데이터 양이 증가함으로 인해서 저속화됨을 단점으로 한다. 따라서 표본화율 설정하는 문제와 함께 해양환경에 더욱 적합한 빔 형성기의 설계 및 수중 데이터의 정확한 분석이 요구된다. 또한 제안된 방법을 개선시키기 위해 모호성을 지니고 있는 음원 탐지 모호 영역을 최소화시키기 위한 빔 형성기의 특성에 따른 연구가 필요하고 다중 빔 형성기를 사용한 분석과 다중 음원에 대한 실험과 고찰이 요구된다.

참 고 문 헌

1. R. L. Moose, "Passive range estimation of an underwater maneuvering target", *IEEE Trans. Acoust., Speech and Signal Processing*, vol. ASSP-35, pp. 274-285, March, 1987.
2. G. Clifford Carter, "Passive ranging errors due to receiving hydrophone position uncertainty", *J. Acoust. Soc. Amer.*, vol. 65, no. 2, pp. 528-530, Feb., 1979.

3. D. H. McCabe and R. L. Moose, "Passive source tracking using sonar time delay data", *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, vol. ASSP-29, pp. 614-617, June, 1981.
4. J. C. Hassab et al., "Estimation of location and motion parameters of a moving source observed from a linear array", *J. Acoust. Soc. Amer.*, vol. 70, no. 4, Oct., 1981.
5. R. L. Moose and T. E. Dailey, "Adaptive underwater target tracking using passive multipath time-delay measurements", *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, vol. ASSP-33, pp. 777-787, Aug., 1985.
6. R. L. Moose and P. M. Godiwala, "Passive depth tracking of underwater maneuvering targets", *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, vol. ASSP-33, pp. 1040-1044, Aug., 1985.
7. J. C. Hassab et al., "Estimation of location and motion parameters of a moving source observed from a linear array", *J. Acoust. Soc. Amer.*, vol. 70, no. 4, Oct., 1981.
8. R. A. Kennedy, T. D. Abhayapala and D. B. Ward, "Broadband nearfield beamforming using a radial beampattern transformation", *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 46, no. 8, pp. 2147-2155, Aug., 1998.
9. R. J. Mailloux, *Phased Array Antenna Handbook*. Boston: Artech House, 1994.
10. W.S. Hodgkiss, Jr., "The effects of array shape perturbation on beamforming and passive ranging", *IEEE J. Oceanic Eng.*, vol. OE-8, no. 3, pp. 120-130, July, 1983.
11. K. B. Theriault and R. M. Zeskind, "Inherent bias in wavefront curvature ranging", *IEEE Trans. Acoust. Speech Signal Proc.*, vol. ASSP-29, no. 3, pp. 524-527, June, 1981.
12. 박민수, 도경철, 오원천, 윤대희, 이충용, "보간법을 이용한 견인 어레이 형상 추정 기법의 성능 개선", *한국음향학회지*, vol. 19, no. 3, pp. 25-31, Apr., 2000.

▲ 김 준 환 (Jun-Hwan Kim)

1999년 2월 : 한국해양대학교 제어계측공학과 (학사)
 1999년 3월 ~ 2001년 2월 : 한국해양대학교 대학원 전파공학과 (공학석사)
 2001년 1월 ~ 현재 : LG 이노텍
 ※ 주관심분야 : 소나 신호처리, 어레이 신호처리

▲ 양 언 식 (In-Sik Yang)

2000년 2월 : 한국해양대학교 전파공학과 (학사)
 2000년 3월 ~ 현재 : 한국해양대학교 대학원 전파공학과 석사과정 재학중
 ※ 주관심분야 : 소나 신호처리

▲ 김 기 만 (Ki-Man Kim)

1988년 2월 : 연세대학교 전자공학과 (학사)

1990년 8월 : 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 1995년 2월 : 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
 1995년 3월 ~ 1996년 8월 : 연세대학교 의과대학 의용공학 교실 (Fellow)
 1996년 9월 ~ 현재 : 한국해양대학교 전파공학과 조교수
 ※ 주관심분야 : 소나 신호처리, 3차원 음향제어, 스마트 안테나, DSP 및 CPLD 구현

▲ 오 원 천 (Won-Tchon Oh)

1980년 2월 : 고려대학교 전자공학과 (학사)
 1982년 2월 : 고려대학교 전자공학과 (공학석사)
 1992년 2월 : The Univ. of Texas at Austin (박사)
 Dept. Electrical and Computer Eng.
 1982년 1월 ~ 현재 : 국방과학연구소 책임연구원, 팀장
 ※ 주관심분야 : 소나 신호처리, 음향표적 및 추적 기법, 고차 통계적 신호처리, 배열신호처리 및 적응 빔 형성기법

▲ 김 인 익 (In-Ig Kim)

1990년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
 1992년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
 1996년 8월 : 경북대학교 전자공학과 (공학박사)
 1996년 11월 ~ 현재 : 국방과학연구소 선임연구원
 ※ 주관심분야 : 소나 신호처리

▲ 천 승 용 (Seung-Yong Chun)

1988년 2월 : 경북대학교 전자공학과 졸업 (학사)
 1990년 2월 : 경북대학교 전자공학과 졸업 (석사)
 1990년 3월 ~ 현재 : 국방과학연구소 선임연구원
 ※ 주관심분야 : 디지털 신호처리