

Near Field Shading 함수를 이용한 표적 거리 추정 기법

최 주 평, 이 원 철

승실대학교 정보통신공학과

전화 : 02-826-7980 / 핸드폰 : 011-264-0418

Target Ranging Method by Using Near Field Shading Function

Joo-Pyoung Choi, Won-Cheol Lee

Dept. of Information and Communication Engineering,

E-mail : pyoung424@amcs.ssu.ac.kr

Abstract

This paper introduces the near field shading beamformer using widely known Chebyshev and Hanning window in the field of digital signal processing. The proposed shading beamformer improves the estimation of range as well as azimuth angle of target residing in near field. A series of sensor weighting values are calculated from the FFT operation of given shading functions in time domain. This paper verifies the performance of the focused beamformer having the proposed shading sensor weights which are used to detect the range of target. Throughout computer simulations this paper exploits the performance improvement of the proposed shading beamformer as varying the frequency band of the received radiated signal along the non-uniform array.

I. 서론

해수중에 존재하는 표적의 음원 신호가 원거리 (Far-field) 영역에 존재한다고 가정하였을 경우 빔 형성기에 의해 표적의 지향 방향으로 생성된 빔패턴 출력은 해양 환경에서 발생하는 여러 가지 소음 및 자함

의 자체 잡음 성분등으로 인해 부엽(Sidelobe)의 전력 준위가 증가하는 성능 저하가 발생한다. 그러므로 빔 형성기의 처리과정에 신호처리 분야에서 광범위하게 사용되고 있는 여러 가지 Shading 함수를 가중치로 적용하여 부엽 준위를 저하시키는 방법으로 사용되었다 [3]. 본 논문에서는 근거리에 위치하고 있는 표적 추정에 적합한 체비셰프(Chebyshev) 및 해닝(Hanning) 알고리즘을 이용한 Shading 함수를 생성하여 표적이 위치하고 있는 방위각과 거리에 대한 추정 성능에 대해 분석을 수행하였다.

II. 견인 센서 배열의 입사신호 모델링

본 논문에서 제안한 근거리 보상 기법(Near-field Compensation Method)을 설명하기 위해서는 먼저 각각의 센서에 대해 복소 가중치 값을 가지는 협대역(Narrowband) 견인 선형 배열을 고려한다. 표적이 위치하고 있는 거리 및 방위각을 각각 r 및 θ 라고 가정한다면, N 개의 센서 개수를 지니는 견인 선형 배열에 대한 표적 방사 신호 응답은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

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

식 (1)에서 ω_n 은 n 번째 센서의 복소 가중치 값을 의미하며, f 는 표적 방사 신호의 중심 주파수를 나타낸다. 또한 c 는 수중 환경에서의 음파 속도를 의미한다.

근거리 보상 기법의 목적은 근거리 빔 패턴 응답을 원거리 빔 패턴 응답의 형태로 변환하는 것이므로 식 (2)와 같은 표준 원거리 빔 형성 기법이 가중치 계산을 위한 요소로 적용되어 진다[1,2].

$$b_F(\theta) = \sum_{n=0}^{N-1} \omega_n e^{j2\pi f_c^{-1} x_n \cos \theta} \quad (2)$$

식 (2)에 표현되어 있는 원거리 빔 형성 기법을 이용하여 보상된 근거리 빔 패턴 출력 응답은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$b_c(r, \theta) = \sum_{n=0}^{N-1} \omega_n \psi_n \frac{r}{d_n(r, \theta)} e^{j2\pi f_c^{-1} (d_n(r, \theta) - r)}$$

여기서

$$\psi_n = r^{-1} d_n(r, \theta) e^{j2\pi f_c^{-1} (r - d_n(r, \theta) + x_n \cos \theta)}$$

식 (4)는 n 번째 건인 배열 센서에 대한 보상 가중치를 의미한다[2]. 이러한 과정을 거쳐서 최종적으로 보상된 근거리 빔 패턴 응답은 근사적으로 원거리 빔 패턴 응답과 동일한 특성을 지니게 된다.

본 논문에서 수행한 표적 추정 빔 형성기는 선형 배열을 건인한다고 가정했을 경우 식 (5)와 같이 n 번째 센서에 대한 입사 신호의 지연 거리를 구할 수 있다.

$$d_n(r, \theta) = (r^2 + 2rx_n - x_0) \cos \theta + (x_n - x_0)^2)^{1/2}$$

식 (5)에서 x_n 은 n 번째 센서의 위치를 나타내며, r 은 전체 배열 길이의 중심 지점에서 표적까지의 거리를 의미한다. 만약 실제 데이터에 근거한 왜곡 배열 및 추정된 배열 구조를 이용한 건인 센서 배열을 적용하면 비선형 배열의 왜곡된 특성으로 인해 건인함의 x , y 축 방향을 기준으로 기동한다고 가정하였을 경우 건인 배열의 왜곡 정도를 표현하는 z 축에 대한 건인 배열 변위 Δz_n 이 발생한다. 즉, 식 (5)는 식 (6)과 같이 재구성될 수 있다.

$$d_n(r, \theta) = (r^2 + 2r(x_n - x_0) \cos \theta + (x_n - x_0)^2 + \Delta z_n^2)^{1/2}$$

식 (6)에서 표현된 각 센서에 도달하는 방사 신호의 지연 거리를 고려하여 센서 출력 신호를 나타내면 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$x_n(r, \theta) = \omega_n \psi_n \frac{r}{d_n(r, \theta)} e^{j2\pi f_c^{-1} (d_n(r, \theta) - r)} \quad (7)$$

식 (7)에서 n 은 센서 인덱스를 의미하며, $\frac{r}{d_n(r, \theta)}$ 는 목표물이 위치한 셀 공간에서 개별적인 센서까지의 신호 전달 과정에서 발생하는 신호 전력에 대한 경로 이득 손실을 나타낸다.

III. Near Field Shading 함수 모델링

본 논문에서는 비균일 건인 배열의 센서 위치정보를 정확히 파악하여 비균일적인 가중치 간격을 가지는 Shading 함수 기법을 사용한다. 즉, 그림 1의 Shading 함수 가중치 재생 과정에서 나타났듯이 FFT(Fast Fourier Transform)를 통하여 시간 영역으로 표현되어 있는 Shading 함수 가중치를 주파수 영역으로 변환시킨 후 최종적으로 산출되는 표적에 대한 거리추정 빔 형성기 출력을 $B(r)$ 이라고 가정한다면, 그림 1에 나타나 있듯이 빔 패턴 출력 $B(r)$ 은 개별적인 배열 센서마다 부여되어지는 Shading 함수 가중치 요소 w_n 과 표적이 존재하는 위치에 대한 거리 r , 배열상에 존재하는 각 센서에서 표적까지의 지연 거리 산출값 $d_n(r, \theta)$ 로 구성할 수 있다. 여기서 Shading 함수 가중치 요소인 w_n 을 제외한 각각의 센서로부터 표적이 존재하는 위치에 대한 개별적인 지연 거리 및 탐지하려는 표적의 거리로 이루어진 나머지 구성요소를 $[A]_{n,r}$ 로 가정한다. 최종적으로는 생성된 비균일 구조의 Shading 가중치 H 와 $[A]_{n,r}$ 의 행렬곱에 의하여 최적화된 Shading 빔 형성기 가중치를 획득할 수 있다.

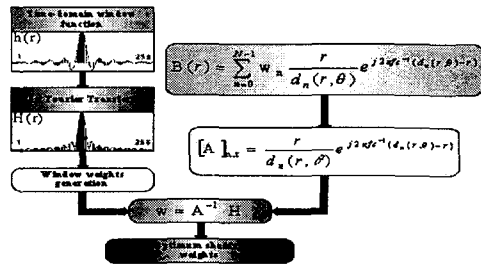


그림 1. 빔 형성기 가중치 재생 과정

IV. 시뮬레이션 및 결과 고찰

본 논문의 모의 실험에 사용되는 비균일 견인 배열은 각각의 주파수 대역에 해당하는 센서들로 집합되어 있는 총 256개의 채널로 구성되어 있으며, 배열 센서 간 간격은 설계 주파수인 800Hz를 기준으로 수중에서의 전파 전달 속도를 1,498m/c로 가정하였을 경우 반파장 간격으로 지정하였다.

표 1은 모의 실험을 위해 사전에 계산된 여러 가지 파라미터들의 수치를 나타내고 있다.

표 1. 모의실험 파라미터

Band	Frequency Band(Hz)	Channel Distance (m)	Boundary Distance (m)	Azimuth Limits (degree)	Ranging Limits	Number of Channel
LF	$10 \leq f \leq 200$	7.49	LF↔MF	-90° ↓ 90°	19750	160
MF	$200 \leq f \leq 400$	3.745	5.6175			32
HF	$400 \leq f \leq 800$	1.872	MF↔HF	2.8087		64

그림 2는 본 논문에서 수행한 모의실험에 적용된 원형 좌표계를 이용한 신호 재생 기법 관련 파라미터를 나타내고 있다. 표적이 존재하는 위치에 대한 방위각은 전체 방위가 -90°에서 90° 범위로 주어질 때 0° 부근에서는 방위각에 대한 분해능을 조밀하게 구성하였으며, -90° 및 90° 부근에 근접할수록 분해능을 넓게 지정하였다.

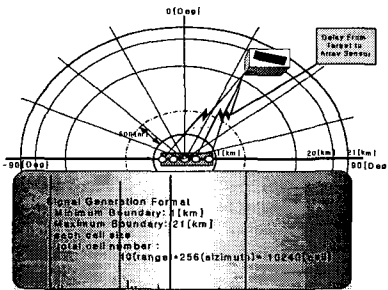


그림 2. 원형 좌표계 신호 재생 기법에 적용되는 모의실험 파라미터

그림 3은 비균일 견인 센서 배열을 이용했을 경우 근거리 표적 추정 빔패턴 출력 결과를 나타내고 있다. 그림 3의 상위면 3개의 모의실험 결과는 신호 대 잡음비가 0dB일 경우 각각의 Shading 함수 기법에 대해 빔 패턴 결과가 전력 준위로 표현된 표적에 대한 방위각 추정 성능을 나타내고 있으며, 그림 3의 하위면 3개의 모의실험 결과는 그림 3의 상위면 모의 실험과 동등한 실험 조건에 대해 신호 대 잡음비가 -10dB일

경우에 대한 빔 형성기 성능을 나타내고 있다. 그림 3의 모의 실험 결과에서 알 수 있듯이 Shading 함수를 적용하지 않은 그림 3(a)의 경우에 비해 체비셰프 및 해닝 Shading 함수를 적용한 그림 3(b) 및 3(c)의 경우 상당한 부엽 준위의 저하 효과가 발생함을 알 수 있다.

그림 4는 근거리 표적이 존재하는 거리에 대한 비균일 배열 구조의 Shading 함수 기법 적용 빔패턴 추정 결과를 나타내고 있다. 그림 4의 모의 실험 결과에서 알 수 있듯이 그림 3의 표적 방위각 추정 성능의 특성과 동일하게 Shading 함수 적용에 대한 부엽 준위 저하 효과가 발생함을 확인할 수 있다.

그림 5는 실제 데이터를 적용하여 생성된 왜곡된 배열 형태를 이용하여 근거리 표적 추정에 대한 모의 실험 결과를 나타내고 있다.

그림 6은 실제 데이터를 적용한 왜곡된 배열 구조를 이용했을 경우 표적이 위치하고 있는 거리에 대한 빔 패턴 추정 성능 변화에 대해 나타내고 있다.

그림 7은 2차 다항식 구적법을 이용하여 실제 왜곡된 배열 형태를 추정한 배열 형태를 적용하여 빔 형성 과정을 거친 빔 패턴 추정 성능을 나타내고 있다.

그림 8은 실제 견인 배열 구조를 추정한 배열 형태 구조를 이용했을 경우 탐지하기를 원하는 표적이 위치하고 있는 거리를 추정한 빔 패턴 결과를 나타내고 있다.

V. 결론

본 논문에서는 근거리 Shading 함수 기법을 적용한 표적추정(Focused) 빔 형성기를 이용하여 표적에 대한 위치 추정 성능 분석을 모의 실험을 통해 확인하였다. 여러 가지 배열 형태 구조를 적용한 빔 형성기 추정 성능 변화를 비교 분석하기 위하여 원형 좌표계 상에 존재하는 표적에 대한 위치 추정을 수행하였으며, 모의 실험 결과에서 알 수 있듯이 본 논문에서 제안한 근거리 Shading 함수 기법을 빔 형성과정에 적용했을 경우 대부분의 견인 배열 구조를 이용한 빔 패턴 추정 결과에 대해 상당한 부엽 준위의 저하 효과가 발생함을 확인할 수 있었다.

Reference

[1] S. Stergiopoulos, Advanced Signal Processing Handbook : Theory and Implementation for Radar, Sonar, and Medical Imaging Real-Time Systems. CRC Press LLC, 2001

- [2] Rodney A. Kennedy, Thushara D. Abhayapala and Darren B. Ward, "Broadband nearfield beamforming using a radial beampattern transformation", IEEE Trans. Signal Processing, vol. 46, no. 8, pp. 2147-2156, August, 1988
- [3] S. Nordebo, I. Claesson, and S. Nordholm, "Weighted Chebyshev approximation for the design of broadband beamformers using quadratic programming", IEEE Signal Processing Lett. vol. 1, pp. 103-105, July, 1994
- [4] 김준환, 양인식, 김기만, 오원천, 도경철, "왜곡된 형상을 갖는 어레이를 위한 합성 처리 기법", 한국음향학회논문지, vol. 19, no. 4, May. 2000.
- [5] 최주평, 이원철, "수차 모형 배열을 이용한 표적 추정(Focused) 빔형성기 성능분석", 한국음향학회논문지, vol. 20, no. 5, July. 2001.

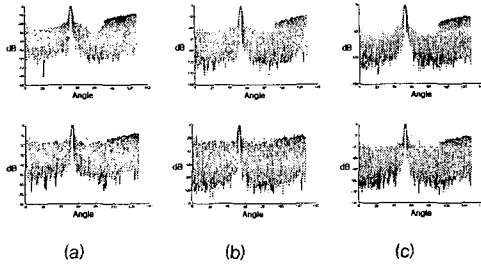


그림 3. 비균일 배열 구조 이용 근거리 표적 방위각 추정(Azimuth = 17.4112°, SNR=0dB and -10dB)

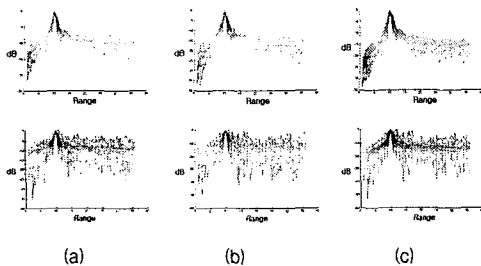


그림 4. 비균일 배열 구조 이용 근거리 표적 거리 추정(Range = 5.75km, SNR=0dB, -10dB)

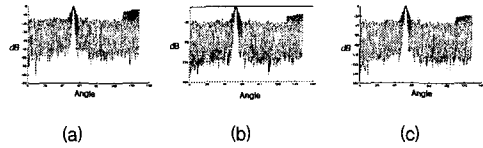
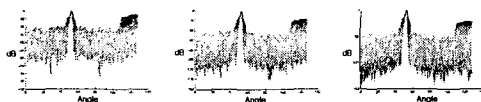


그림 5. 실제 왜곡 배열 구조 이용 근거리 표적 방위각 추정(Azimuth = 17.4112°, SNR=0dB and -10dB)

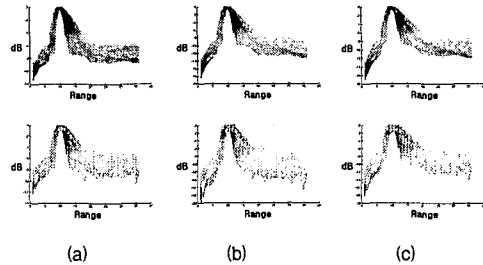


그림 6. 실제 왜곡 배열 구조 이용 근거리 표적 거리 추정(Range = 5.75km, SNR=0dB, -10dB)

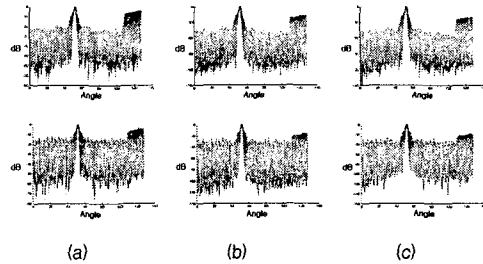


그림 7. 추정된 왜곡 배열 구조 이용 근거리 표적 방위각 추정(Azimuth = 17.4112°, SNR=0dB and -10dB)

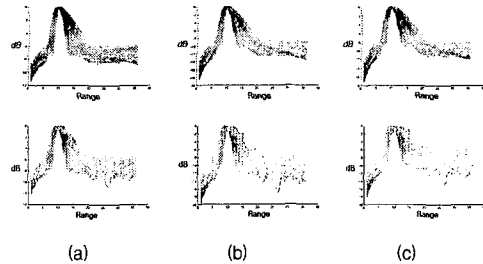


그림 8. 추정된 왜곡된 배열 구조를 이용한 근거리 표적 거리 추정(Range = 5.75km, SNR=0dB, -10dB)