

근거리 웨이딩 함수를 이용한 표적 거리 추정 빔형성 기법

Beamforming Method for Target Range Estimation Using Near Field Shading Function

최 주 평*, 이 원 철*
(Joo-Pyoung Choi*, Won-Cheol Lee*)

*충실대학교 정보통신공학과
(접수일자: 2008년 5월 13일; 수정일자: 2008년 7월 11일; 채택일자: 2008년 10월 20일)

본 논문에서는 근거리 표적 탐지 빔형성 기법에 적합한 체비셰프(Chebyshev) 및 해닝(Hanning) 웨이딩 함수를 제안하였다. 제안된 근거리 표적 탐지용 웨이딩 함수는 최적의 센서 가중치를 얻기 위하여 비균일 선인 배열의 센서 위치 정보를 사전에 정확히 알고 있다고 가정하였으며, FFT(Fast Fourier Transform)를 통하여 시간영역으로 표현되어 있는 웨이딩 함수 가중치를 주파수 영역으로 변환시키는 과정을 수행하였다. 이러한 과정을 통하여 산출된 웨이딩 함수 가중치는 개별 센서에 대한 가중치 값으로 부여하였다. 또한 제안한 근거리 웨이딩 기법을 기반으로 빔 패턴의 부엽 준위 저하 효과와 더불어 표적에 대한 방위각 및 거리 추정 성능이 향상됨을 모의실험을 통하여 확인하였다. 이와 더불어 수신신호 주파수 대역에 따라 차분적으로 구성된 비균일 선인 배열을 이용함으로써 인해 다양한 수신신호 주파수에 따른 성능 감쇄 현상을 최소화하는 배열구조를 제안하였다.

핵심용어: 비균일 센서 배열, 왜곡 형상 배열, 빔 형성기, 웨이딩 함수 기법
투고분야: 수중음향 분야 (5,6)

In this paper, we propose shading functions to the appropriate focused beamforming for near-field target estimation. This near field shading functions are based on Chebyshev and Hanning windows. In order to obtain the optimum sensor weighting values with the help of the proposed shading technique, we assume that the sensor positions associated to the non-uniformly distributed array are precisely known. We calculate a series of sensor weighting values from the FFT operation of given shading functions in time domain. By applying the shading weights on the sensor array, we can see that the level of sidelobe becomes diminished and the performance of estimating range and azimuth gets improved. In addition, we propose a non-uniform structure in terms of frequency bands, which may minimize the attenuation of incoming signals.

Keywords: Non-uniform sensor array, Distorted shape array, Beamformer, Shading function
ASK subject classification: Underwater Acoustics (5,6)

1. 서론

해수 중에 존재하는 표적 방사 신호가 원거리 (Far field)영역에 위치할 경우 빔 형성기에 의해 표적 방향으로 생성된 빔패턴 출력은 해양 환경에서 발생하는 여러 가지 소음 및 자함의 자체 잡음 성분 등으로 인해 부엽 (Sidelobe)의 전력준위가 증가하는 성능 저하현상이 발생한다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 일반적으로 통

신신호처리 분야에서는 빔 형성기의 처리과정에 여러 가지 웨이딩 함수를 가중치로 적용하여 부엽 준위를 저하시키는 방법을 이용하였다 [1]. 그러나 자함의 근거리에 위치하고 있는 표적에 대해 기존에 사용되고 있는 원거리 기반 웨이딩 함수 가중치를 적용하였을 경우 빔패턴 주엽 (Mainlobe) 폭의 증가 및 부엽 준위의 증가와 같은 성능 저하 현상이 발생한다.

본 논문에서는 근거리 표적 추정에 적합한 최적화된 체비셰프 및 해닝 웨이딩 함수 가중치를 생성하여 표적이 위치하고 있는 방위각과 거리에 대한 추정 성능을 분석하였다.

책임저자: 최 주 평 (pyoung424@amcs.ssu.ac.kr)
156-743 서울시 동작구 삼도5동 충실대학교 평남공학관 1202호
(전화: 02-816-6606; 팩스: 02-826-7980)

이와 더불어 선형 배열 센서 형태가 견인함의 움직임에 의하여 왜곡된 배열 형태로 변화할 경우 순시 적으로 형태 변화를 추정하여 시간 지연 값을 계산해야 한다는 문제점이 발생함으로 인해, 1 Hz~1000 Hz의 주파수 영역 표적 탐지에 적합한 200~300개 센서로 구성된 배열 구성을 가지는 비균일 견인 센서 배열을 설계하였으며, 특정 시점에서 왜곡된 형태를 가지는 배열의 형상 변화를 모의실험에 적용하여 근거리에 위치하고 있는 표적을 추정하는 절차를 수행하였다 [2].

본 논문에서 제안하는 빔 형성 기법에 있어 표적에 대한 방위각 및 거리는 사전에 지정하였으며, 각각의 센서에서 취득된 시간 지연 값들을 기반으로 표적과 배열 센서 사이의 기하학적인 분석에 의해 지연 및 화의 과정을 통하여 표적의 방위각 및 거리를 추정하는 절차를 수행하였다. 이때 표적의 방사 신호는 LF (Low Frequency) 영역에 해당하는 주파수 범위 내에 존재한다고 가정하였다. 또한 실제 배열 형태에 2차 다항식 구적법을 적용하여 생성된 추정 배열 형태를 이용하여 실제 배열 형태와의 표적 위치 추정 성능 변화에 대한 비교 분석을 수행하였다 [3,6].

II. 견인 센서 배열의 입사신호 모델링

기존 통신 신호 처리 분야에서 광범위하게 적용되고 있는 웨이딩 함수는 원거리 표적탐지 빔 형성 기법에 적합한 특성을 지니고 있다. 본 논문에서는 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 근거리 표적 탐지에 적합하게 설계된 웨이딩 함수를 원거리 견인 배열 센서 적용하는 근거리 표적 탐지 보상 기법을 제안하였다.

각각의 배열 센서에 대해 복소 가중치 값을 가지는 협대역 (Narrowband) 견인 선형 배열을 고려할 경우, 표적이 위치하고 있는 거리 및 방위각을 각각 r 및 θ 라고 가정하였을 때, N 개의 센서 개수를 지나는 견인 선형 배열에 대한 표적 방사 신호 응답은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다 [1][4].

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

식 (1)에서 ω_n 은 n 번째 센서의 복소 가중치 값을 의미하며, f_c 는 표적 방사 신호의 중심 주파수를 나타낸다.

또한 $d_n(r, \theta)$ 는 n 번째 센서에 대한 입사 신호의 시간 지연 값을 나타내며, c 는 수중 환경에서의 음파 속도를 의미한다.

근거리 표적 탐지 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 적용된다.

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

식 (2)는 방위각 θ 를 갖는 원거리 표적에 대한 일반적인 빔 패턴 출력 응답을 나타내고 있다. 식 (2)에 표현되어 있는 원거리 빔 형성 기법을 이용하여 보상된 근거리 빔 패턴 출력 응답은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$b_c(r, \theta) = \sum_{n=0}^{N-1} \omega_n \psi_n \frac{r}{d_n(r, \theta)} e^{j2\pi f_c (d_n(r, \theta) - r)} \quad (3)$$

이거시

$$\psi_n = r^{-1} d_n(r, \phi) e^{j2\pi f_c (r - d_n(r, \phi) + x_n \cos \phi)} \quad (4)$$

식 (4)는 n 번째 견인 배열 센서에 대한 보상 가중치 값을 의미한다. 위의 식 (4)에 의해 보상된 근거리 빔 패턴 응답은 $\theta - \phi$ 의 조건에서 원거리 빔 패턴 응답과 동일한 특성을 지닌다.

원하는 근거리 빔 패턴 응답을 구하기 위해서는 가중치 ω_n 을 표준 원거리 빔 형성 기법을 이용하여 획득해야 한다. 이러한 과정을 거쳐서 최종적으로 보상된 근거리 빔 패턴 응답은 표적에 대한 방위각 및 거리 추정에 있어서 근사적으로 원거리 빔 패턴 응답과 동일한 특성을 지니게 된다.

견인 센서 배열을 이용하여 근거리에 존재하는 표적을 추정함에 있어 기존의 직교 좌표계를 이용한 위치 추정 방식은 사전에 일정하게 주어진 거리에 따른 좌표 지점을 탐지하는 방식이므로 표적이 존재하는 방위각 및 거리를 동시에 추정할 수 없는 단점이 존재한다 [5]. 그러므로 본 논문에서는 표적의 위치에 대한 좌표를 방위각 및 거리로 나타낼 수 있는 원형 형태의 극 좌표계를 사용하여 제안하는 빔 형성기의 성능 변화를 분석하였다.

그림 1은 본 논문에 적용된 극 좌표계에 대한 기본 구성

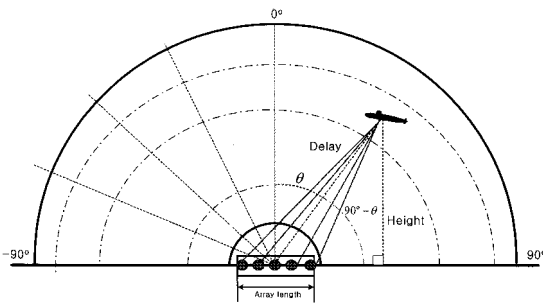


그림 1. 원형 형태의 극 좌표계를 이용한 신호 재생
Fig. 1. Signal generation using polar coordinates of circular type.

도를 나타내고 있다.

극 좌표계 내부에 탐지하려는 표적이 존재한다고 가정하면, θ 는 원형 좌표계의 0° 에 해당하는 수직선상을 기준으로 표적이 위치해 있는 방위각을 의미한다. 그림 1에서 표적이 존재하는 가상의 원형 이미지 공간은 사인 (Sin) 및 코사인 (Cosine) 파형의 특성을 이용하여 표적 좌표의 방위각이 0° 부근에 근접할수록 셀 공간의 분해능이 높아 지도록 설정하였으며, 이와는 반대로 -90° 및 90° 로 표적 방위각이 근접할수록 분해능이 약화되도록 재구성하였다.

본 논문에서 수행한 표적 추정 빔 형성기는 견인 배열의 각 센서 지점을 기준으로 표적까지의 거리 r 및 표적이 위치해 있는 방위각 θ 를 이용하여 표적의 방사 신호가 개별적인 배열 센서에 도달하기까지의 지연 거리를 계산하여 최종적으로는 표적 방향에 대해 빔을 형성하는 과정을 수행한다. 식 (5)는 각 센서에 대한 입사 신호의 시간 지연 값을 의미한다.

$$d_n(r, \theta) = (r^2 + 2r(x_n - x_0)\cos\theta + (x_n - x_0)^2)^{1/2} \quad (5)$$

식 (5)에서 x_n 은 n 번째 센서의 위치를 나타내며, r 은 전체 배열 길이의 중심 지점에서 표적까지의 거리를 의미한다.

왜곡된 배열 구조를 가지는 견인 센서 배열을 이용할 경우, x 와 y 축 방향을 기준으로 견인함이 기동한다고 가정할 수 있으므로 견인 배열의 왜곡 정도를 표현하는 z 축에 대한 견인 배열 변위를 고려할 수 있다. 이때 n 번째 센서의 z 축 변위를 Δz_n 이라 놓고 표적에서 센서까지의 거리 지연을 계산하면 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$d_n(r, \theta) = (r^2 + 2r(x_n - x_0)\cos\theta + (x_n - x_0)^2 + \Delta z_n^2)^{1/2} \quad (6)$$

표적에 대한 거리 및 방위각을 나타내는 (r, θ) 좌표를 기준으로 표적 방사 신호가 각각의 배열 센서에 입사한다고 가정할 경우, 각 센서의 출력 신호는 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

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

식 (7)에서 $\frac{r}{d_n(r, \theta)}$ 는 표적이 위치한 셀 공간에서 각 센서까지의 신호 전달 과정에서 발생하는 신호 전력에 대한 경로 이득 손실을 의미한다. 또한 $n_n(t)$ 는 n 번째 센서에 부가되는 소음 성분을 의미한다.

III. 근거리 웨이딩 함수 모델링

본 논문에 제안한 근거리 웨이딩 함수는 그림 2와 같은 비균일 웨이딩 함수 가중치 생성과정을 통하여 산출될 수 있다.

사전에 비균일 견인 배열의 센서 위치정보를 정확히 알고 있을 경우, 센서 위치와 일치하는 비균일 가중치 간격을 가지는 웨이딩 함수를 생성해야 한다. 이를 위해 비균일 견인 배열의 개별적인 센서 위치를 기준으로 센서 간 빈 공간에 가상의 센서를 삽입하여 균일 센서 간격의 특성을 지니는 배열을 구성한다. 다음으로 균일한 배열 센서의 위치 및 총 수와 동일하게 균일한 특성을 지니는 웨이딩 함수를 구성한다.

이렇게 만들어진 균일 견인 배열 및 웨이딩 함수 가중치의 위치를 비교하여 원래의 비균일 배열 센서 위치에 해당하는 웨이딩 함수 가중치를 추출한다.

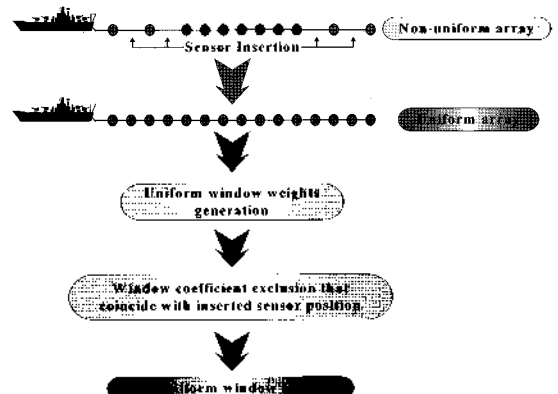


그림 2. 웨이딩 함수 가중치 위치 재설정 과정
Fig. 2. Process of Window function coefficients relocation.

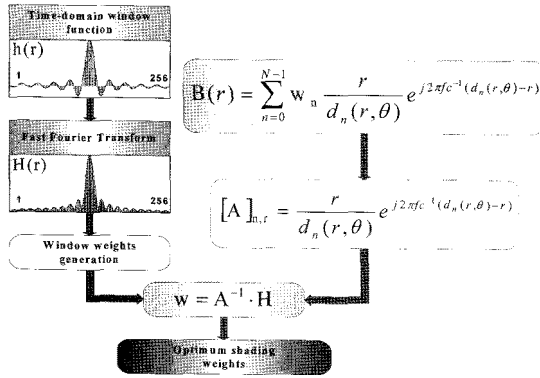


그림 3. 빔 형성기 가중치 재생 과정
Fig. 3. Processing of beamformer weight generation.

그림 3은 FFT 과정을 통하여 시간 영역으로 표현된 비균일 웨이딩 함수 가중치를 주파수 영역으로 변환시키는 과정을 나타내고 있다.

그림 3에 나타나 있듯이 최종 산출 되는 표적에 대한 거리추정 빔 형성기 출력을 $B(r)$ 이라고 가정하면, 빔 패턴 출력 $B(r)$ 은 개별 배열 센서마다 부여되는 웨이딩 함수 가중치 요소 w_n 및 표적이 존재하는 위치까지의 거리 r , 배열 상에 존재하는 각 센서에서 표적까지의 시간 지연 산출 값 $d_n(r, \theta)$ 로 구성할 수 있다. 여기서 w_n 을 제외한 각각의 센서로부터 표적이 존재하는 위치에 대한 개별적인 시간 지연 및 거리로 이루어진 나머지 구성요소를 $[A]_{n,t}$ 로 설정하면, 웨이딩 가중치 w 와 $[A]_{n,t}$ 의 행렬 곱에 의하여 최적화된 웨이딩 빔 형성기 가중치를 획득할 수 있다.

생성된 근거리 웨이딩 가중치를 벡터 및 행렬로 표현하면 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$w = A^{-1} \cdot H \tag{8}$$

$$H(r) = [H(1,r), H(2,r), \dots, H(N,r)]^T \tag{9}$$

$$A_{n,t} = \begin{bmatrix} \frac{r}{d_1(r_1, \theta)} & \frac{r}{d_1(r_2, \theta)} & \dots & \frac{r}{d_1(r_{2N}, \theta)} \\ \frac{r}{d_2(r_1, \theta)} & \frac{r}{d_2(r_2, \theta)} & \dots & \frac{r}{d_2(r_{2N}, \theta)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{r}{d_n(r_1, \theta)} & \frac{r}{d_n(r_2, \theta)} & \dots & \frac{r}{d_n(r_{2N}, \theta)} \end{bmatrix} \tag{10}$$

위 식에서 N 은 건인 배열 센서의 총 개수이며, D_n 는 배열 센서 중심 시점에서 원형좌표계 상의 셀 공간에 존재하는 표적까지의 개별적인 거리의 총합을 의미한다.

IV. 표적 추정 (Focused) 빔 형성 기법

빔 형성을 위한 첫 번째 과정은 각각의 셀 공간으로부터 견인 배열 상에 존재하는 개별적인 센서들까지의 전달 지연 거리를 구하는 것이다. 이때 신호가 취득되는 동안은 배열 센서의 구조가 일정하게 유지되며 표적으로부터 방사되는 신호의 송출 시점은 사전에 알고 있다고 가정한다.

각각의 배열 센서에 표적의 방사 신호가 순차적으로 입사되면 센서 간 입사 시간 지연이 적용된 센서 출력 신호가 취득되며, 일정 구간 동안의 센서별 입사 신호 표본들을 모두 더하는 과정을 수행하게 된다.

이러한 일련의 빔 형성 절차는 사전에 정해진 탐색 이미징 공간 내에 존재하는 모든 셀 공간에 대하여 진행된다. 이와 같은 과정을 통하여 셀의 위치에 따라 상이한 지연 거리 값들을 기반으로 표적이 존재하는 좌표의 지연 거리 값과의 상관 과정을 거쳐 표적의 위치를 정확히 파악할 수 있다.

정확한 시간 지연 값들로 출력 표본들이 정렬되면, 이에 대한 절대치 제곱을 취한 후 코히어런트 합인 결과의 큰 값을 갖게 된다 [5].

그림 4는 이러한 표적 추정 빔 형성 과정을 간단하게 나타낸 그림이다. 각 센서 출력 $x_m(n), m=1, \dots, M$ 에 적용되는 시간 지연 값들, 즉 $\tau_m^{(r, \theta)}$ 는 사전에 기하학적인 절차를 통하여 계산된다.

식 (11)은 그림 4의 표적 추정 빔 형성기에 대한 최종적인 빔 패턴 출력을 나타낸다.

$$f(i, j) = \sum_{n=1}^{N_s} \left| \sum_{m=1}^M x_m(n + \tau_m^{(i, j)}) \right|^2 \tag{11}$$

식(11)에서 M 은 견인 배열 센서의 총 개수를 의미하며,

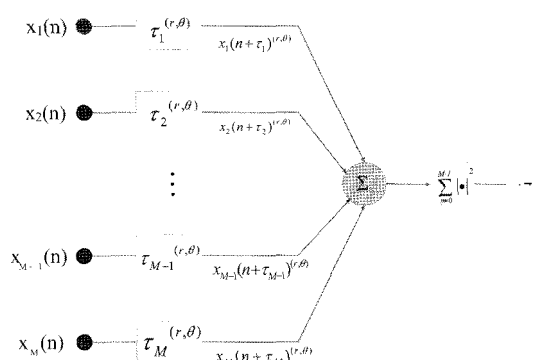


그림 4. 표적 추정 빔 형성기 처리 과정도
Fig. 4. Processing block diagram of focused beamformer.

N_s 는 총 데이터 표본수를 나타낸다.

V. 모의실험 및 결과

표 1은 표적 추정 빈 형성기에 적용되는 표적 방사 신호의 주파수 범위를 나타내고 있다.

그림 5는 표 1에 주어진 주파수 대역에 상응하여 센서 간 간격이 재구성된 비균일 전인 배열 구조를 나타내고 있다.

그림 5의 배열 구조는 각각의 주파수 대역에 해당하는 센서들을 그룹화 한 형태로 구성되어 있으며, 센서 그룹 간 겹치는 현상을 방지하기 위해 센서 그룹 사이는 일정한 간격으로 분리하였다. 또한 LF 영역에 비해 HF 영역으로 갈수록 상대적으로 센서의 개수를 적게 설정하였다. 이와 더불어 극 좌표계 상에 존재하는 표적의 최대 탐지 거리는 20~30 km로 한정하였으며, 표적이 존재하는 각각의 셀 영역은 300 m~600 m 범위로 지정하였다.

그림 6의 모의실험 결과는 실제 견인 비선형 왜곡 배열과 2차 다항식 구적법을 이용하여 실제 배열 형태를 추정한 배열 형태에 대해 나타내고 있다.

표 1. 주파수 대역에 따른 설계 주파수 구간
Table 1. Design frequency section on frequency band.

Band	설계 주파수 구간
Low Frequency	1 Hz <math>\leq f < 250 \text{ Hz}</math>
Middle Frequency	250 Hz $\leq f \leq 450 \text{ Hz}$
High Frequency	450 Hz $\leq f \leq 1000 \text{ Hz}$

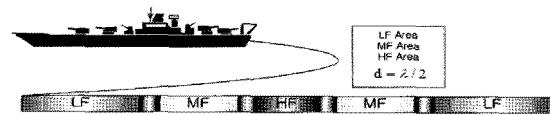


그림 5. 비균일 견인 배열 구성도
Fig. 5. Block diagram of no-uniform towed array.

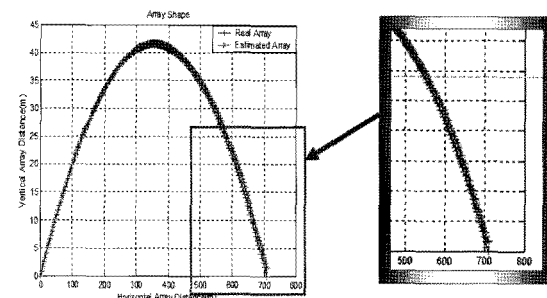


그림 6. 실제 및 추정 배열 형태의 비교
Fig. 6. Comparison of real and estimated array shape.

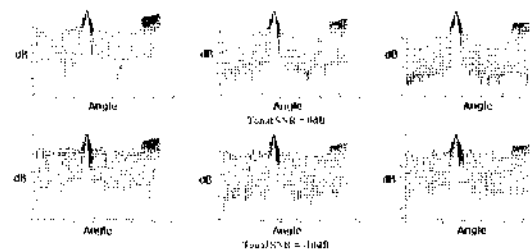
그림 7은 실제 비선형 왜곡 배열 형태를 기반으로 근거리 표적 추정에 대한 모의실험 결과를 보여주고 있다. 신호 대 잡음비는 각각 0 dB 및 -10 dB로 지정하였다.

그림 7의 모의실험 결과에서 알 수 있듯이 본 논문에서 제안한 근거리 웨이딩 함수를 적용했을 경우 비적용한 빔패턴 출력 결과에 비해 신호 대 잡음비가 0 dB로 설정되어 있을 경우는 20~30 dB, 신호 대 잡음비가 -10 dB 일 경우는 10~20 dB 정도 전력준위의 저하 효과가 나타남을 알 수 있다. 특히 해닝 함수를 적용했을 경우 더욱 우수한 부엽 준위 저하 효과가 발생함을 파악 할 수 있다.

그림 8의 모의실험 결과는 그림 7과 동일한 배열 형태를 적용하였을 경우 표적이 위치하고 있는 거리에 대한 빔패턴 추정 성능 변화에 대해 나타내고 있다. 표적이 위치하고 있는 거리는 그림 1의 극 좌표계의 원점을 기준으로 5,750 m 떨어져 있다고 가정하였다.

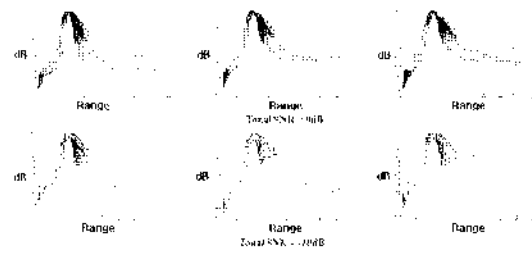
그림 8의 모의실험 결과에서 알 수 있듯이 그웨이딩 함수를 적용한 빔패턴 출력에 대한 부엽 준위 저하 효과는 비적용 빔패턴 출력에 비해 2 dB 정도 차이가 있음을 알 수 있다.

그림 9는 2차 다항식 구적법을 이용하여 실제 왜곡 배열 형태를 추정한 배열 구조를 적용한 근거리 표적 방위각 추정 성능을 나타내고 있다.



(a) No window (b) Chebyshev (c) Hanning

그림 7. 실제 왜곡 배열 구조를 이용한 근거리 목표물 거리 추정
Fig. 7. Nearfield target detection with the azimuth variation using real distortion array.



(a) No window (b) Chebyshev (c) Hanning

그림 8. 실제 왜곡된 배열 구조를 이용한 근거리 목표물 거리 추정 (Range = 5.75 km)
Fig. 8. Nearfield target detection with the range variation using real distortion array (Range = 5.75 km).

그림 10은 그림 9와 동일한 배열 형태 및 모의실험 환경 하에서 근거리 표적의 거리를 추정한 빔 패턴 출력 결과를 나타내고 있다.

그림 9와 그림 10의 모의실험 결과에서 알 수 있듯이 추정 배열 형태가 적용된 빔패턴 출력의 경우 실제 비선형 왜곡 배열 구조를 이용한 빔패턴 출력 결과와 근거리 표적에 대한 추정 성능이 거의 유사함을 확인할 수 있다.

표 2는 본 논문의 모의실험에서 수행한 빔패턴 출력 결과의 성능비교를 보여주고 있다. 즉, 웨이딩 비적용 빔패턴 출력 결과를 기준으로 본 논문에서 제안한 근거리 웨이딩 함수 적용 빔패턴 부엽 전력 수준의 평균 감소

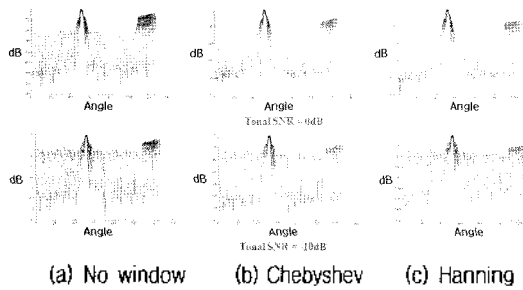


그림 9. 추정된 왜곡 배열 구조를 이용한 근거리 목표물 방위각 추정

Fig. 9. Nearfield target detection with the azimuth variation using estimated array.

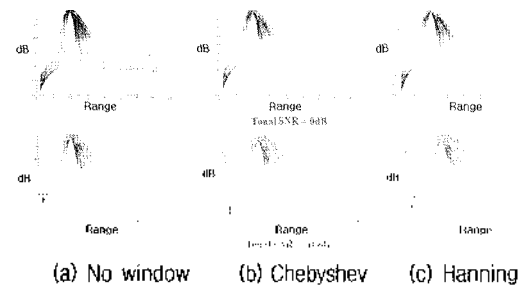


그림 10. 추정된 왜곡 배열 구조를 이용한 근거리 목표물 거리 추정 (Range = 5.75 km)

Fig. 10. Nearfield target detection with the range variation using estimated array (Range = 5.75 km).

표 2. 모의실험 결과에 대한 성능비교

Table 2. Comparing the performance results for the simulation output.

구분		실제 비선형 왜곡 배열			추정 비선형 왜곡 배열	
		체비 셰프	해닝	체비 셰프	해닝	체비 셰프
표적 방위각 추정	신호 대 잡음비	0 dB	-20 dB	-30 dB	-20 dB	-30 dB
		-10 dB	-10 dB	-20 dB	-10 dB	-20 dB
표적 거리 추정	신호 대 잡음비	0 dB	-2.5 dB	-2 dB	-2.5 dB	-2 dB
		-10 dB	-2 dB	-1.5 dB	-2 dB	-1.5 dB

정도를 나타내고 있다.

표 2와 모의실험 결과를 통하여 알 수 있듯이 실제 비선형 왜곡 배열 구조 및 2차 다항식 구적법을 이용한 추정 배열 구조에 대한 근거리 웨이딩 함수 적용 빔 패턴 추정 성능을 비교하여 보았을 때 성능 차이가 거의 없음을 확인할 수 있다.

VI. 결론

본 논문에서는 근거리 웨이딩 함수 기법을 적용한 표적 추정 빔 형성기를 이용하여 극 좌표계 상에 존재하는 표적에 대한 위치 추정 성능을 확인하였다. 즉, 근거리 웨이딩 함수 적용 시 표적의 방위각 추정에 있어 정규화된 전력 준위를 기준으로 대략 10 dB~30 dB 정도의 부엽 준위 감소 효과가 발생함을 모의실험을 통하여 파악할 수 있었다.

또한 실제 목표물 탐지에서 발생할 수 있는 오차를 최소화 하고자 실제 센서 위치 데이터를 이용하여 형성된 왜곡 전인 배열 및 2차 다항식 구적법을 이용하여 형성한 추정 배열 구조를 빔 형성 과정에 적용하여 방위각 및 거리에 대한 추정 성능 변화를 확인하였다.

참고 문헌

1. S. Nordebo, I. Claesson, and S. Nordholm, "Weighted Chebyshev approximation for the design of broadband beamformers using quadratic programming," *IEEE Signal Processing Lett.*, 1, 103-105, July, 1994.
2. S. Stergopoulos, *Advanced Signal Processing Handbook : Theory and Implementation for Radar, Sonar, and Medical Imaging Real-Time Systems*, (CRC Press LLC, 2001).
3. Douglas A. Gray, Brian D. O. Anderson and Robert R. Bitmead, "Towed array shape estimation using kalman filters-theoretical model," *IEEE J. Oceanic Eng.*, 18(4), 543-556, Oct, 1993.
4. Rodney A. Kennedy, Thushara D. Abhayapala and Darren B. Ward, "Broadband nearfield beamforming using a radial beampattern transformation," *IEEE Trans. Signal Processing*, 46(8), 2147-2156, August, 1998.
5. 최주평, 이원철, "수차 모형 배열을 이용한 표적추정 (Focused 빔형성기 성능분석)," *한국음향학회 논문지*, 20(5), July, 2001.
6. 박민수, 도경철, 오원천, 윤대희, 이충용, "보간법을 이용한 견인 어레이 형상 추정 기법의 성능개선," *한국음향학회 논문지*, 19 (3), April, 2000.

저자 약력

•최 주 명 (Joo-Pyoung Choi)



1999년 2월: 안양대학교 정보통신공학과 공학사
2001년 2월: 송실대학교 전자공학과 공학석사
2003년 3월: 송실대학교 정보통신공학과 박사수료
2003년 3월~2006년 12월: 새턴정보통신(주) 정보통신연구소 선임연구원
2006년 12월~현재: 송실대학교 정보통신공학과 박사과정
관심분야: 무선인지 기술, 적응 빔형성기법, 사전코딩 기법, 소나 신호처리, 아크감지 기술

•이 원 철 (Won-Cheol Lee)



1986년 2월: 서강대학교 전자공학과 공학사
1988년 2월: 연세대학교 전자공학과 공학석사
1994년 7월: New York Polytechnic Univ. Electrical Engineering 박사
1995년 9월~현재: 송실대학교 정보통신공학과 교수
관심분야: 음향신호처리, 무선인지 기술, 무선측위 기술, 이동통신시스템, 적응 빔형성기법, 사공간 부호화 코딩 기법, 디지털 필터설계