

방위센서를 이용한 비선형 선배열 형상 추정 기법

조요한*, 조치영*, 서희선*

* 국방과학연구소

A Nonlinear Array Shape Estimation Using the Heading Sensor Signal

Yo Han Cho*, Chee Young Joh*, Hee Seon Seo*

* Agency for Defense Development

yhcho@sunam.kreonet.re.kr, cyjoh@sunam.kreonet.re.kr, hsseo@sunam.kreonet.re.kr

요 약 문

가늘고 긴 선배열을 해상에서 운용할 때 비선형 형상이 유도되므로 음원에 대한 정확한 탐지를 위하여 배열형상 추정이 필요하다. 방위센서를 이용한 배열형상 추정을 위하여 배열의 편 정도가 적은 경우에만 적용 가능한 다항 근사화 방법의 제한점을 극복하기 위하여 반복법을 제안하고, 수치 시뮬레이션을 통하여 반복회수에 따른 배열형상 추정결과를 분석하였다.

본 연구에서는 음향모듈 내에 장착된 방위센서를 이용하여 배열의 비선형성이 매우 큰 경우에도 배열형상 추정이 가능한 반복 다항 근사화 기법을 제안하고, 배열형상의 예제모델을 구하여 시뮬레이션을 통하여 반복회수의 영향을 분석하고 형상추정오차를 구하였다.

I. 서 론

매우 낮은 신호 대 잡음비를 갖는 수중음원을 탐지하기 위하여 길이가 매우 긴 예인 선배열 시스템을 운용하여야 한다. 가늘고 긴 선배열을 해상에서 운용할 때, 예인함의 운동, 조류 등의 유체력뿐만 아니라 선형기동에 의해 선배열이 선형을 유지하지 못하는 경우가 발생한다. 이와 같이 선배열이 비선형으로 기동할 경우, 목표물의 탐지오차 최소화를 위해서는 비선형 거동에 대한 정확한 배열형상 추정이 필요하다.

배열형상을 추정하는 방법에는 크게 두 가지로 분류할 수 있는데, 하나는 방위센서, 수심센서와 같은 보조센서를 이용하는 방법이고, [1~3] 다른 하나는 단순히 배열로부터 받아들인 음향센서 출력신호를 분석하는 기법으로 나눌 수 있다. [4~6] 음향센서 신호를 이용하는 방법은 한 개 또는 여러 개의 음원으로부터 발생하는 음파를 음향센서간의 시간지연정보로 변환하는 방법으로 배열의 형상을 추정하기 위하여 많은 시간이 필요하고, 때때로 먼거리(far-field)에 위치한 음원이 필요하다.

II. 배열 형상 추정 기법

1. 다항 근사화 기법

비선형 선배열을 다음과 같이 좌표계의 원점을 통과하는 C차의 다항식으로 표현할 수 있다고 가정한다.

$$y(x) = \sum_{i=1}^C a_i x^i, \quad i=1,2,\dots,C \quad (1)$$

식 (1)로부터 배열 상의 임의 위치에서의 방위값은 다음과 같은 곡선 기울기가 된다.

$$\frac{dy(x)}{dx} = a_1 + 2a_2x + \dots + Ca_c x^{C-1} \quad (2)$$

여기서 B개의 방위센서로부터 측정된 방위 값을 h_i ($i=1,2,\dots,B$) 이라고 하면 배열형상추정은 다음 식을 만족하는 다항식의 계수 a_i ($i=1,2,\dots,C$) 을 결정하는 문제가 된다.

$$[H] a = h$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 2x_1 & 3x_1^2 & \dots & Cx_1^{C-1} \\ 1 & 2x_2 & 3x_2^2 & \dots & Cx_2^{C-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 2x_B & 3x_B^2 & \dots & Cx_B^{C-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \dots \\ a_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \dots \\ h_B \end{bmatrix} \quad (3)$$

위 식을 최소자승법으로 풀면 다항식의 계수 a_i 를 구할 수 있다.

2. 반복 다항 근사화 기법

식(3)을 풀기 위해서는 우변에 있는 방위센서의 측정값(h_i)뿐만 아니라 좌변의 첫 번째 항렬에 있는 방위센서 좌표 x_i 가 주어져야 한다. 배열상에 있는 방위센서의 x 좌표를 등간격 d 로 배치되어 있다고 가정하여 $x_i = (i-1)d$ 를 대입하면, 비선형 정도가 적을 경우에는 오차가 작으나 비선형성이 큰 경우에는 실제 곡선과 추정곡선 사이의 차이가 커지게 된다.

방위센서 6개가 등간격으로 배치된 배열에서 형상을 추정한다고 가정하자. 처음에 방위센서의 x 좌표를 모르기 때문에 등간격 d 로 배치되어 있다고 가정하여 추정한 배열형상을 구하면 그림 1과 같다. 추정한 곡선 $y^{(1)}$ 은 실제 배열형상과 오차를 가지며, 이 곡선의 전체길이는 배열의 길이보다 더 길다.

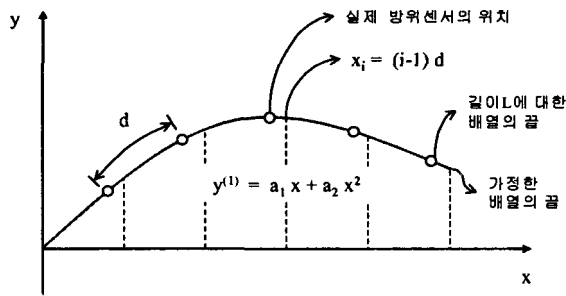


그림 1. 추정한 배열형상에서의 방위센서 위치

여기서 위의 추정곡선에서 곡선을 따라 길이 d 인 방위센서 좌표 x_i^{k+1} 를 구하여, 다음 계산에 사용하면 방위센서 x 좌표의 차이에 의한 형상 추정 오차를 줄일 수 있다. 그림 2와 같은 알고리즘을 통하여 배열형상추정을 반복하면 정확한 값을 얻는다.

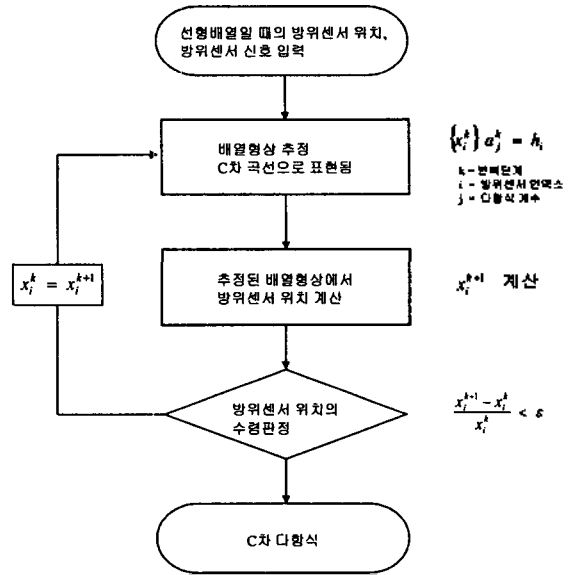


그림 2. 반복계산의 개요

III. 시뮬레이션

1. 시뮬레이션 모델

본 논문에서 제시한 반복 다항 근사화 방법에 의한 배열형상 추정 기법의 타당성 검토하기 위하여 예인 케이블의 길이가 1700m이며, 음향모듈이 712.5m인 예인 선배열 시스템을 예제 모델로 선정하여 수치 시뮬레이션을 수행하였다. 6개의 방위센서가 등간격 142.5m로 배열 내에 위치하고 있으며 음향센서가 등간격으로 배열된 선배열을 고려하였다.

배열형상 모델을 만들기 위해 배열이 기준 좌표축으로부터 벗어난 정도를 나타내는 비선형성을 배열의 횡방향 최대변위를 배열 전체길이로 나눈 값으로 정의하였고, 비선형성이 5~30%인 2차곡선 및 3차곡선을 고려하였다. 그리고 배열형상 추정결과가 빔형상에 미치는 영향을 알아보기 위하여 표 1과 같이 방위각이 서로 다른 4개의 다중음원을 고려하였다.

표 1. 시뮬레이션에 사용된 음원

음원	SNR (dB)	방위각 (deg)
S_1	10	-30
S_2	8	-15
S_3	6	15
S_4	4	30

2. 반복의 영향

반복 다항 근사화 방법에 의한 배열형상 추정에서 반복회수에 따른 영향을 알아보기 위하여 2차곡선 $\delta=30\%$ 에 대한 시뮬레이션 결과를 그림 3에 나타내었다. 반복 단계 1의 형상 추정 결과는 기존의 다항 근사화 방법의 결과를 나타내며, 반복회수 4회 이상으로 실제형상과 유사해짐을 보여주었다.

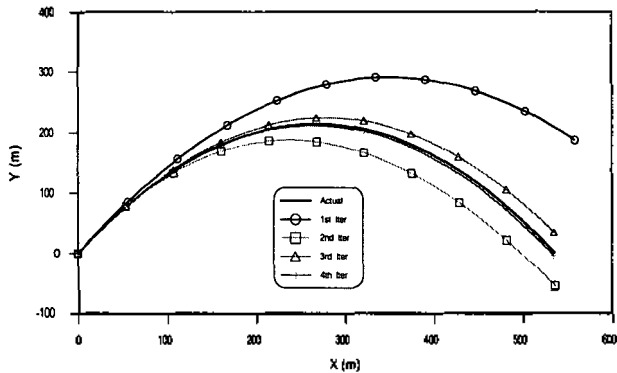


그림 3. 2차곡선 $\delta=30\%$ 모델의 반복회수에 따른 형상 추정

그림 4는 빔형성 결과를 보여주는데, 비반복에 의한 빔출력에서는 4개의 음원에 대한 탐지성능이 저하되어 있으나, 반복법에 의한 형상 추정 결과를 이용한 빔형성에서는 정확한 음원 탐지가 이루어짐을 보여주었다.

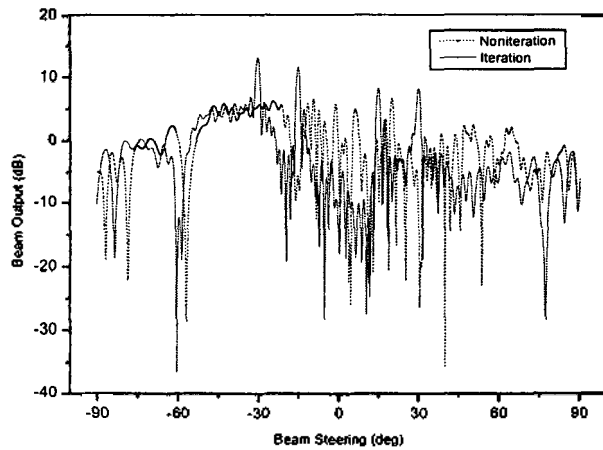


그림 4. 2차곡선 $\delta=30\%$ 일 때의 반복법에 의한 빔형성

그림 5와 6은 3차곡선 형상에 대한 시뮬레이션 결과를 보여주는데 3차곡선의 경우에는 1회의 반복으로도 상당히 형상추정 결과가 양호해짐을 보여 주었다.

그림 7과 8은 비선형성이 큰 경우의 2차곡선 및 3차곡선 형상의 추정결과를 보여주고 있으며, 반복법에 의

하여 실제형상과 거의 유사하게 추정함을 보여주었다.

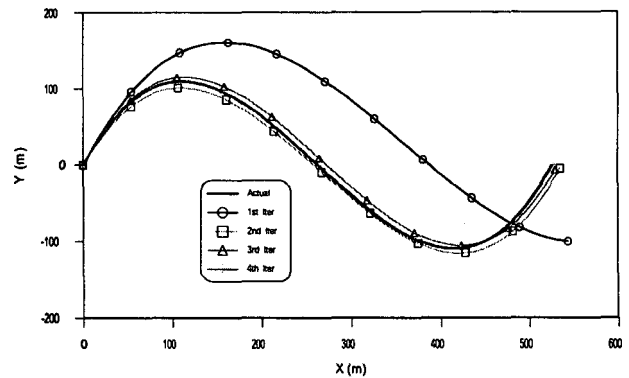


그림 5. 3차곡선 $\delta=30\%$ 모델의 반복회수에 따른 형상 추정

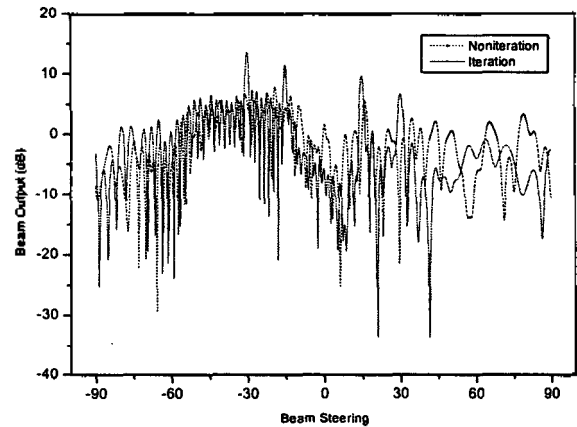


그림 6. 3차곡선 $\delta=30\%$ 일 때의 반복법에 의한 빔형성

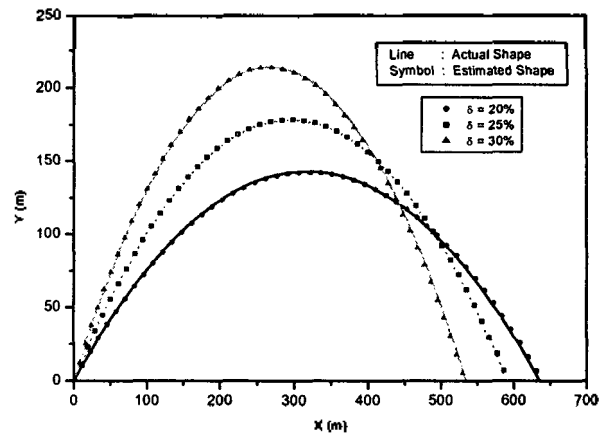


그림 7. 반복 다항 근사화 방법에 의한 2차곡선 추정결과

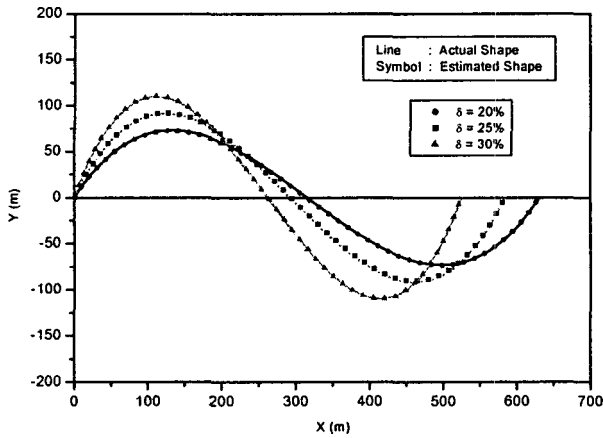


그림 8. 반복 다항 근사화 방법에 의한 3차곡선 추정결과

마지막으로 형상추정의 정확성을 알아보기 위하여 실제 배열 형상에서의 방위센서 위치와 추정 배열 형상에서의 방위센서 위치차이를 나타내는 위치오차 값을 구한 결과를 그림 9에 나타내었다. 비반복에 의한 형상 추정에서는 배열형상의 비선형성이 증가할수록 위치오차가 증가하나, 반복법에서는 비선형성의 크기에 상관없이 일정한 값을 보였다.

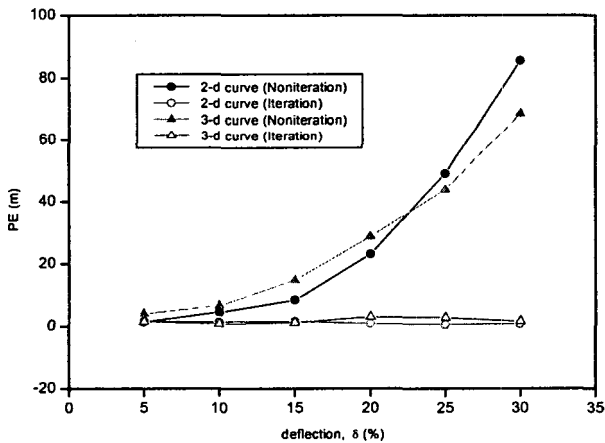


그림 9. 반복의 유무에 따른 위치오차의 비교

IV. 결론

본 논문에서는 비선형 배열 형상을 추정하기 위하여 방위센서 신호를 이용한 다항 근사화 기법을 활용하여 배열의 비선형성이 매우 큰 경우에도 적용 가능한 반복법을 제안하고 시뮬레이션을 통하여 이를 검증하였다. 배열형상의 비선형성이 5~30%인 2차곡선 및 3차곡선

모델에 대하여 반복법에 의한 시뮬레이션 결과

- 배열형상의 비선형성이 매우 큰 경우에도 적용 가능한 반복 다항 근사화 기법을 개발하였다.
- 제안한 반복법에 의한 배열 형상 추정시 필요한 반복회수는 4회 정도가 요구되었다.

참고문헌

- [1] Howard, B. E., and Syck, J. M., "Calculation of the shape of a towed underwater acoustic array", IEEE J. Oceanic Eng., Vol. 17, no. 2, Apr. 92, pp. 193-203
- [2] Owsley, N. L., "Shape estimation for a flexible underwater cable", in Proc. IEEE EASCON, Nov. 81, pp. 20-23
- [3] Gray, D. A., Anderson B. D. O., and Bitmead, R. R., "Towed array shape estimation using kalman filters-theoretical models", IEEE J. Oceanic Eng., Vol. 18, no. 4, Oct. 93, pp. 543-556
- [4] Bucker, H., "Beamforming a towed line array of unknown shape.", J. Acoust. Soc. Amer., vol. 67, May. 78, pp. 1451-1454
- [5] A. Weiss, and B. Friedlander, "Array shape calibration using sources in unknown locations - a maximum likelihood approach", IEEE Trans. Acoust. Speech, Signal Processing, vol. 37, no. 12, 1989, pp. 1958-1966
- [6] Daniel E. Wahl, "Towed array shape estimation using frequency-wavenumber data", IEEE J. Oceanic Eng., Vol. 18, no. 4, Oct. 93, pp. 582-590