

## 다중 신호원의 도래방향 추정을 위한 개선된 MVE에 관한 연구

정용민, 신준호, 김용득

아주 대학교 전자공학과

경기도 수원시 팔달구 원천동 아주 대학교 컴퓨터 네트워크 연구실

ymjung@comnet.ajou.ac.kr

### A Study on an Improved MVE for Estimating the Direction of Arrival of Multiple Sources

Yong - Min Jung, Jun - Ho Shin, Yong - Deak Kim

Dept. of Electronic Ajou University

Computer Network Lab. Ajou Univ. Wonchun Dong Paldal Gu Suwon KOREA

ymjung@comnet.ajou.ac.kr

#### ABSTRACT

Many high-resolution algorithms based on the eigen-decomposition analysis of observed covariance matrix, such as MVE, MUSIC, and EVM, have been proposed. However, the resolution of spectral estimates for these algorithms is severely degraded when Signal-to-Noise Ratio (SNR) is low and arrival angles of signal are close to each other. And EVM and MUSIC is powerful for the characteristic of SNR. But have the limitation that the number of signals presented is known. While MVE is bad the characteristic of SNR.

In this study, we propose a modified MVE to enhance the resolution for Direction-Of-Arrival (DOA) estimation of underwater acoustic signal. This is to remove the limitation that existing algorithms should know the information for the number of signals. Because the algorithms founded on the eigen value estimate DOA with only the noise subspace, they have the high-resolution characteristic. And then,

with the method reducing the effect of the signal subspace, we are to reduce the degradation because of complementary relationship between the signal subspace and the noise subspace.

This paper, with using the simulation data, we have estimated the proposed algorithms, compared it with other high-resolution algorithms. The simulation results show that the modified MVE proposed is accurate and has a better resolution even though SNR is low, under the same condition.

#### 1. 서론

음파를 이용하여 목표물의 정보를 얻는 시스템을 소나 (SONAR ; Sound Navigation And Ranging)시스템이라고 한다.

많은 소나 시스템에서 다중 신호원으로부터 배열 센서를 통해 수신된 신호를 분석하여 센서에 입사되는 DOA(Directional Of Arrival)를 평가하는 것이 주요 목적이 된다. 신호의 DOA를 분석하기 위한 지연-합 빔형성(Delay-and-Sum Beamforming) 알고리즘은 신호대 잡음비가 낮아질수록 해상도가 낮아진다. 그리고

지연-합 빔형성 방법은 입사하는 신호의 방위를 전력만으로 평가하는 문제를 가지고 있고, 다른 간섭신호에 대한 영향이 그대로 반영되고 있다. 이러한 문제점으로 인해 Capon은 MVE (Minimum Variance Estimator)를 제안하였다. 이것은 다른 고유값에 기초한 알고리즘으로 MUSIC (Multiple Signal Classification), EVM (Eigen Vector Method)과 함께 배열 센서로부터 수신된 신호의 벡터로부터 얻어진 자기상관행렬(Correlation matrix)을 신호공간과 잡음공간으로 분해하는 방법으로 입사하는 목표물의 방위정보를 얻는다. 그러나 고유값에 기초한 위와 같은 평가 방법도 잡음 및 다중경로 효과 등으로 인해 해상도가 낮아지고, 입사각의 차가 적을수록 위치정보를 정확히 알 수 없다.

본 논문에서는 기존의 빔형성 알고리즘과 다양한 고해상도 알고리즘을 비교 분석해보고, 공분산의 고유값을 이용하여 더 좋은 해상도를 얻을 수 있는 평균 EVM 알고리즘을 제안한다. 그리고 이것의 성능 평가를 위해 모의실험을 통해 MVE, EVM, 그리고 MUSIC 알고리즘과 비교하여 보았다.

모의실험은 임의의 신호에 평균이 영인 백색잡음을 사용하였고 센서 배열 형태는 선형 배열 센서를 사용하고 센서의 개수는 10개로 하였다. 적용된 각 센서의 민감도는 동일한 것으로 가정한다.

## 1. 본론

### 1. 개선 방향

EVM, MUSIC과 같이 고유값에 기초한 알고리즘들은 SNR이 낮더라도 높은 해상도를 나타낸다. 그러나, 이러한 알고리즘은 수신 센서의 수신 영역에 나타난 신호의 수를 우리가 알고 있어야 한다는 제한을 가지고 있다. 수중환경에서 실제로 출현하는 신호의 수를 안다는 것은 지극히 제한적인 사항이고, 실제 수중환경에서 요구되는 것은 나타난 신호의 수를 모르는 경우에 대해서 신호의 DOA 정보를 아는 것이 필요하다. 출현한 신호의 수에 대한 정보를 필요로 하지 않는 MVE의 경우는 신호공간과 잡음공간과의 직교성으로 인해 SNR이 낮아질수록 해상도가 현저히 떨어지는 문제점을 안고 있다. EVM과 MUSIC이 해상도가 높은 특성은 MVE와 같은 상쇄성을 제거하고 잡음 부공간

만을 평가하기 때문이다.

본 연구에서는 수신영역에 출현한 신호의 수에 대한 정보를 가지고 있지 않은 상황에서 신호공간에 의한 해상도 저하요인을 최소화하고, SNR의 영향을 최소화할 수 있는 수정된 MVE 알고리즘을 제안한다. 수중환경에서 신호의 수를 관찰자가 인지하지 않고 있는 상태에서 신호의 DOA 정보를 해석할 수 있게 하기 위하여 잡음 정규화 방법을 적용한 새로운 알고리즘을 제안한다.

### 2. 적용 이론

본 연구에서는 신호의 전력에 가중치가 적용되기 전에 계산된 값에서 평균값을 나누어 잡음 정규화 방법을 적용한다. 정규화 과정 처리를 위한 표본 데이터 열의 종행렬의 평균값을 구하여 데이터 열을 나누어 적용할 수 있다.

$$z(k) = \frac{x(k)}{\hat{m}(k)}$$

생성된 데이터로부터 평균값을 기준으로 단위를 빼면 그 결과는 영의 값으로 이동하게 된다. 잡음공간의 평균은 상당히 작으므로 평균  $\hat{m}(k)$ 에 의해 나누어지는 결과는 더 커지게 되고, 반면에 신호공간에 위치한 값의 평균은 단위 보다 크기 때문에  $\hat{m}(k)$ 에 의해 나누어지면 그 결과 값은 전보다 작아지게 된다. 그리고 이 식에 양의 상수  $K_A$ 를 적용하여 확장 또는 압축될 수 있도록 하고, 또한  $K_B$ 에 의해 확장 또는 압축된 데이터를 필요한 기준으로 이동할 수 있다. 구현된 관계는 [그림1]과 같다.

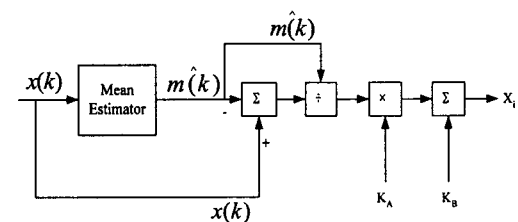


그림 1. 평균 추정 및 제거 처리 위 관계를 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$X_i = K_A \frac{x(k) - \widehat{m}(k)}{\widehat{m}(k)} + K_B$$

위 식을 MVE에 적용하면  $x(k)$ 를 대치하여 다음과 같이 적용될 수 있다.

$$X_i = K_A \frac{|a(\theta)^* v_i|^2 - \overline{|a(\theta)^* v_i|^2}}{|a(\theta)^* v_i|^2} + K_B$$

$$P_{mmue} = \left[ \sum_{i=1}^M \frac{1}{\lambda_i} X_i \right]^{-1}$$

### 3. 모의 실험

#### 3.1 실험 환경

본 논문의 실험 환경은 IBM-PC 환경에서 MATLAB 5.0을 사용하였다. 시뮬레이션 조건은 일차원 선형 배열 센서 10개로 가정하고, 신호원은 지수함수를 사용하였을 때, 잡음 평균이 영이고, 가우시안 분포를 갖는 잡음을 적용하였다. 신호원은 입사방위각이 근접함에 따른 결과를 확인하기 위해 두 개를 사용하였다.

#### 3.1.1. 신호 생성 및 실험 조건

모의 실험에 사용된 신호는 다음과 같이 구성하였다.

$$s_1(n) = AM_1 \exp\{j2\pi f_{c1}n\}$$

$$s_2(n) = AM_2 \exp\{j2\pi f_{c2}n\}$$

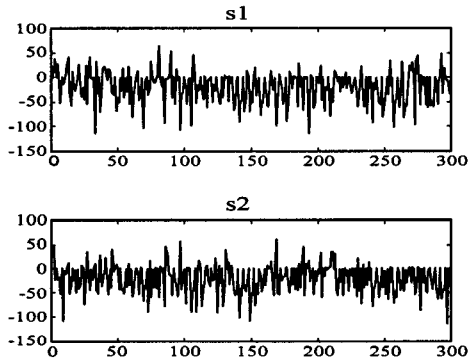


그림 2, 신호원 파형

위 신호의 진폭 AM은 각각 10, 9로 하고, 사용된 주파수는  $f_{c1} = 500\text{Hz}$ 와  $f_{c2} = 300\text{Hz}$ 를 이용하였다. 수집된 데이터 표본 수는 300개를 표본으로 하였다.

실험에 사용한 SNR은 다음과 같다.

SNR = 0dB, -5dB, -10dB, -15dB, -20dB

신호원의 시영역 그래프는 [그림2]에 나타나 있다. DOA는  $-5^\circ$ 와  $3^\circ$ 로 입사되는 것으로 하였다. 잡음은 평균이 영이고, 백색 가우시안 잡음을 이용하였다.

### 3.2. 실험결과 및 분석

#### 3.2.1. 실험 결과

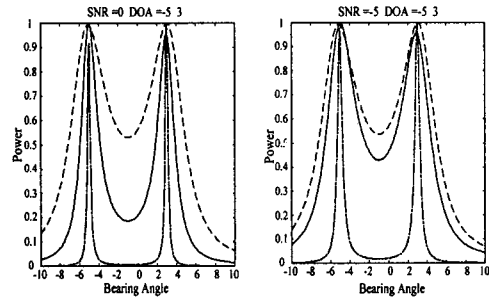


그림 3. SNR (0dB, -5dB), DOA  $-5^\circ, 3^\circ$

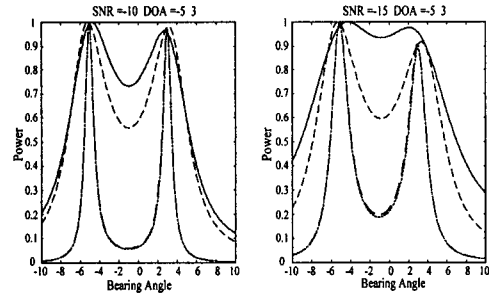


그림 4. SNR (-10dB, -15dB) DOA  $-5^\circ, 3^\circ$

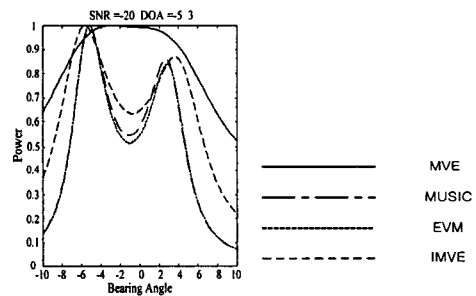


그림 5. SNR -20dB, DOA  $-5^\circ, 3^\circ$

제안된 알고리즘은 IMVE(Improved MVE)로 명명하였다. 적용 알고리즘의 해상도가 높아 방위각의 범위는  $-10^\circ$  에서  $10^\circ$  로 적용하였다.

### 3.2.2. 실험 결과 분석

적용된 분석에 의하면 MMVE는 SNR이 낮아질수록 해상도가 증가함을 알 수 있다.  $-10\text{dB}$ 의 경우 MVE보다 더 향상된 결과를 볼 수 있다. 또한  $-15\text{dB}$ 의 경우  $-20\text{dB}$ 의 경우는 EVM과 MUSIC과 같은 해상도를 나타내는 반면 MVE는 두 개의 신호원을 구별하지 못하고 있다.

## 결론

### 1. 결론

수중환경에서 신호를 분석하는 소나 시스템의 주 목표 중의 하나인 표적의 DOA를 분석하는 알고리즘에 대한 많은 연구가 수행되고 있다. 고전적인 지연-합 빔 형성 방법은 광대역 신호에 대한 낮은 해상도를 갖는 문제가 있다. 고유값에 기초한 빔 형성 방법들은 해상도가 높지만, 신호의 수를 미리 알아야 한다는 제한이 있고, MVE는 신호공간과 잡음공간과의 직교성으로 인해 SNR이 낮은 경우 해상도가 낮아지는 문제가 있다. 본 연구에서 제안한 수정된 MVE 알고리즘은 배열 센서로부터 수신되는 신호의 DOA를 분석하는 하는 것으로 기존의 지연-합 빔 형성 방법의 낮은 해상도를 개선한 방법인 고유값에 기초한 고해상도 알고리즘들을 평가해보았다. 제안한 알고리즘은 모의 실험을 통해 신호의 수에 대한 정보 없이 SNR이 낮은 조건에서도 EVM과 MUSIC과 같은 수준의 성능을 나타내고 있다. 실제 환경에서 SNR이 큰 경우에는 MVE나 기타의 알고리즘에 큰 성능을 나타내므로 기존의 알고리즘 적용해도 큰 문제가 없다. 그러나 SNR이 낮은 경우 해상도는 현저히 떨어지는 문제를 본 연구를 통해 해결함으로써 수중환경에서 신뢰성을 향상시킬 수 있었다.

### 2. 향후 연구

본 연구를 통하여 실제 수중환경에서 신호원 수에 대한 정보 없이도 향상된 해상도를 얻었다. 그러나 이것은 많은 연산 과정을 요구하게 된다. 이것은 실시간성을 요구하는 신호처리 시스템에서는 많은 시스템 부하로 작용한다. 그러나 최근 H/W의 발달로 이러한 문제에 대한 어려움이 해소되었다. 따라서 본 개선 알고

리즘을 H/W로 구성하여 실제 수중환경에서 사용되는 소나 시스템의 신뢰성을 향상시키고, 완성도를 높이는 연구가 진행되어야 하겠다.

## 참고문헌

- [1] Robert J. Urick., "Principle of underwater sound", McGraw-Hill Inc. USA. pp.1-2, 1975
- [2] Simon Haykin, "Adaptive Filter Theory", Prentice-Hall, pp.76-77, 1996.
- [3] Richard O. Nielson., "Sonar Signal Processing", Artech House Inc., PP.51-59, 1991.
- [4] HAK-LIM KO, "A High Performance Parallel Architecture For Adaptive Beamforming", thesis of North Carolina State Univ., pp.7-34, 1995.
- [5] D.H.Johnson and D.E.Dudgeon, "Array Signal Processing", Pentice-Hall, Englewood Cliffs. NJ, PP.373-393, 1993.
- [6] Gray, D.A, "Effect of time-delay errors on the beam pattern of a linear array", IEEE J. Oceanic Eng., U.S.A, pp.269~277, 1985
- [7] S.W.GAO, J.W.R. GRIFFITHS, "Performance evaluation of the high-resolution array processing algorithms using real sonar data", Kluwer Academic Publishers., Netherlands., 1993
- [8] William S. Burdic, "Underwater Acoustic System Analysis", Prentice-Hall, U.S.A, 1984
- [9] 김 용득 외, "Beamforming 이론에 의한 반사파 재현에 관한 연구", 대한전자공학회 추계학술대회 논문집, pp.1609 ~ 1612, 1996.
- [10] Young-Soo Kim, James A. Cadzow, "Multiple Source Direction Finding : A Signal Enhancement Approach", Academic Press, pp.82 ~ 94,, 1998.
- [11] DON H. JOHNSON, "The Application of Spectral Estimation Methods to Bearing Estimation Problems", Proceedings of The IEEE", vol. 70, NO. 9, pp1018~1028, 1982.
- [12] RALPH O. SCHMIDT, "Multiple Source DF Signal Processing : An Experimental System", IEEE Transaction on antennas and Propagation", Vol.AP-34, NO. 3", pp 281~290, 1986.