

배열 안테나의 상관성 신호에서 원하는 신호 추정 방법에 대한 연구

이민수*

A Study on Desired Signal Estimation in Correlation Signal of Array Antennas

Min-Soo Lee*

요약 본 논문에서는 수정된 MUSIC 도래 방향 추정 알고리즘에 대해서 연구 하였다. 수정된 MUSIC 알고리즘은 특이 값 행렬과 베이스 방법을 적용시켜 공 분산행렬을 최적화 시키고 가중치를 갱신하여 원하는 신호를 추정하는 방법이다. 그리고 MUSCI 알고리즘의 신호 부 공간 방법을 적용시켜 원하는 신호를 정확히 추정하였다. 무상관 신호가 수신 시스템에 입사하면 기존의 MUSIC알고리즘으로 원하는 신호를 추정 할 수 있다. 그러나 일반적으로 수신 시스템에는 상관성 신호가 입사하므로 기존의 MUSIC알고리즘으로 원하는 도래 방향 신호를 추정할 수 있는 능력이 현저히 떨어진다. 모의실험을 통해서 상관성 신호인 경우에 본 연구에서 제안된 MUSIC알고리즘과 기존의 MUSIC알고리즘의 성능을 비교 분석한다.

Abstract In this paper, we studied for modified MUSIC algorithm of direction of arrival (DOA)estimation. Modified MUSIC algorithm search optimal covariance matrix using singular value decomposition and Bayes method, and desired signals are estimated by updating weight. In order to estimation of desired signals, we used sub spatial method of MUSIC algorithm. General MUSIC algorithm can estimate a desired signal in case of non-correlation signal. But, general MUSIC algorithm in case of correlation signal can not estimate a desired signals and resolution is decreased. Though simulation in case of correlation signal, we analyze to compare proposed MUSIC algorithm with general MUSIC algorithm.

Key Words : MUSIC algorithm, Array antenna, Correlation, Bayes method, Singular value

1. 서론

도래 방향 추정에서 지금 까지 연구된 많은 부 공간 분해 방법들은 신호 공간과 잡음 공간으로 구분하여 신호를 추정하였다[1]. 부 공간 신호 기술 방법의 구분은 첫 번째 단계로 수신 신호들을 고유 구조형태로 정렬하여 배열 상관 행렬 분해에 의해서 잡음 공간과 신호 공간으로 추정한다. 신호 세기가 큰 고유치의 공 분산 행렬 고유벡터에 의해서 확장된 부 공간은 신호

부 공간으로 나타난다. 부 공간 방법의 도래 방향 추정에서 신호 고유치가 잡음 고유치보다 더 큰 신호를 추정함으로써 원하는 신호를 획득 할 수 있다. 본 연구에서는 MUSIC(Multiple Signal Classification)을 이용하여 도래방향을 추정한다. 일반적인 MUSIC알고리즘이 아니고 수정된 MUSIC알고리즘을 적용한다. 본 연구의 수정 알고리즘은 공분산행렬을 특이행렬을 이용하여 공 분산 행렬을 계산하고 순방향 과 역방향 부 배열을 이용하여 최적의 신호 부공간과 잡음 부공

* Corresponding Author : Department of Electrical, Electronic and Communication Daejin University(lms00@daejin.ac.kr)
Received August 1, 2015 Revised August 5, 2015 Accepted August 11, 2015

간을 구분한다. MUSIC알고리즘은 Schmidt에 의해서 제안되었고 도래 방향을 추정하는 효율적인 알고리즘으로 알려져 있다[2-4]. 그러나 상관성 신호 일 때는 도래 방향 추정 능력이 현저히 떨어져 시스템 적용에 불가능하다. 일반적으로 순방향 부 공간을 MUSIC알고리즘에 적용시켜 상관성 신호 경우에도 도래 방향 추정을 할 수 있다. 그러나 분해능이 감소하는 단점이 있다. 본 연구에서는 분해능을 증가하기 위한 수정 MUSIC알고리즘을 연구한다. 본 연구에서 수정된 MUSIC알고리즘은 특이값 행렬을 이용하여 공 분산행렬을 정확히 계산하고 도래방향의 추정의 분해능을 증가시키기 위해서 베이스 확률을 이용하여 최적 가중치를 계산하였다. 최적 가중치를 MUSIC알고리즘에 적용하여 원하는 도래방향을 추정하고자 한다.

모의실험으로 본 연구에서 제안된 알고리즘과 기존의 MUSIC알고리즘에 대한 성능을 비교 분석한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 신호 모델에 대해서 서술하고, 3장에서는 최적 가중치의 알고리즘을 갱신하기 위해서 특이값 행렬의 상관행렬에 대해서 제안한다. 4장에서는 모의실험을 통하여 시스템의 성능을 비교 분석하고 5장에서는 결론을 맺는다.

2. 신호 모델

M 개의 선형 배열 안테나로 구성된 시스템에서 배열 안테나 소자 간격은 반파장 d , k 개의 신호가 안테나에 입사한다. 수신신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다[5,6].

$$X(t) = s(t) + n(t) \quad (1)$$

여기서 $s(t)$ 는 배열 안테나의 수신 신호, $n(t)$ 는 잡음 신호이다. 수신 시스템의 출력 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Y = W^H X(t) \quad (2)$$

여기서 W 는 가중치, $()^H$ 는 허미턴스 행렬이다. 갱신 가중치를 이용하여 원하는 신호를 추정하기 위한 공분산 행렬은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R = A R A^H + N \quad (3)$$

여기서 $A = [a_1(\theta), \dots, a_K(\theta)]$, R 은 공분산 행렬, N 은 잡음이다. 위너호프 방정식을 이용한 오차신호의 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Er(t) = d(t) - W^H X(t) \quad (4)$$

여기서 $d(t)$ 원하는 도래방향 추정 신호, $X(t)$ 수신신호, $W(t)$ 가중치이며 비유함수로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$G = Er[|d(t) - (W^H X(t))|^2] \quad (5)$$

$$W = R_c R^{-1} \quad (6)$$

R_c 는 상호 상관 행렬이다.

3. 특이값 상관행렬 제안

상관 행렬의 특이 값 분해(SVD: singular value decomposition)를 사용하여 공 분산 행렬을 구한다. 안테나에 수신되는 신호의 표현은 다음과 같이 나타낼 수 있다[7,8].

$$X_1 = A S_1 + N_1 \quad (7)$$

$$S_1 = [s_1, s_2, \dots, s_{L-1}] \quad (8)$$

$$N_1 = [n_1, n_2, \dots, n_{L-1}] \quad (9)$$

이때 s_2 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$S_2 = \mathfrak{N} S_1 \quad (10)$$

$$\mathfrak{N} = \text{diag}[e^{j2\pi f_1}, e^{j2\pi f_2}, \dots, e^{j2\pi f_p}] \quad (11)$$

여기서, $\text{diag}[\]$ 는 대각행렬(diagonal matrix)이다.

$$X_2 = A \mathfrak{N} S_1 + N_2 \quad (12)$$

X_2 상호상관행렬은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{21} = E[X_2 X_1^H] = A \mathfrak{N} R_s A^H \quad (13)$$

$$R_s = E[S_1 S_1^H] \quad (14)$$

여기서 R_s 는 신호 상관행렬, $[\cdot]^H$ 은 복소 공액 전치 행렬, $E[\cdot]$ 은 기댓값이다. 두 행렬에서 상호 상관행렬을 분리시키면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{21,1} = A \mathfrak{N} R_s A_1^H \quad (15)$$

$$R_{21,2} = A \mathfrak{N} R_s A_2^H \quad (16)$$

여기서, A_1 과 A_2 는 A 배열 응답 행렬의 첫 번째 행과 마지막 $M(N-1)$ 행을 나타낸다. 이때 A_2 를 다시 나타내면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$A_2 = \xi A_1 \quad (17)$$

$$\xi = \text{diag}[\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_p] \quad (18)$$

여기서 $\gamma_1 = \exp(j2\pi d_r \sin \theta_1) / \lambda$ 이다. 상관행렬의 SVD(singular value decomposition)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R = [U_1 \ U_2] \begin{bmatrix} \sum 0 \\ 0 \ 0 \end{bmatrix} V^H \quad (19)$$

$$U_1 = [u_1, u_2, \dots, \mu_p] \quad (20)$$

$$U_2 = [u_{p+1}, u_{p+2}, \dots, \mu_{2M(N-1)}] \quad (21)$$

U_1 신호 부공간이 존재한다면, 도래방향 추정에서 배열의 부 공간 방법을 사용할 수 있다. 여기서 U_{11} 과 U_{12} 의 두 개의 $M(N-1) \times P$ 행렬에서 U_1 을 분해하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$U_1 = \begin{bmatrix} U_{11} \\ U_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 \\ A_1 \xi \end{bmatrix} T \quad (22)$$

식(22)에서 $U_{11} = A_1 T$, $U_{12} = A_1 \xi T$ 으로 표현될 수 있으며 T 는 테플리츠(Toeplitz)행렬로서 U_{12} 을 다음과 같이 다시 나타낼 수 있다.

$$U_{12} = U_{11} T^{-1} \xi T \quad (23)$$

$$U_{11}^* U_{12} = T^{-1} \xi T \quad (24)$$

ξ 행렬의 대각 요소 도래방향 추정은 $U_{11}^* U_{12}$ 의 고유치 γ_p 에 의해서 구할 수 있다.

$$\theta = \sin^{-1} \left[\frac{\arg(\gamma_p) \lambda}{2\pi d_r} \right] \quad (25)$$

원하는 신호의 도래방향을 추정하고 분해능을 증가시키기 위해서 베이즈 방법을 적용하여 지향 벡터의 확률 분포는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$p(\theta_i|X(t)) = \frac{\sum_{i=1}^K a(\theta_i)p(X(t)|\theta_i)}{\sum_{j=1}^n a(\theta_j)p(X(t)|\theta_j)} \quad (26)$$

MUSIC알고리즘의 스펙트럼은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P = \frac{a(\theta) W W^H a(\theta)^H}{a(\theta) W E_n E_n^H W^H a(\theta)^H} \quad (27)$$

4. 모의실험

본 연구에서 수정 MUSIC알고리즘을 연구하여 수정되지 않은 MUSIC알고리즘과 성능을 비교하기 위해서 모의실험을 한다. 모의실험 조건은 안테나 배열 개수 12개, 신호 대 잡음비 20dB, 안테나 간격은 그레이팅 로브를 피하기 위해서 반 파장, 원하는 신호 개수는 3개[-10°, 0°, 10°]로 설정하였다. 그림1은 기존의 MUSIC 알고리즘으로 원하는 신호를 추정한 그래프이다. 채널환경은 무상관신호에서 추출한 형태로서 3개의 신호를 모두 추정하였다. 그림 2는 기존의 MUSIC알고리즘으로 상관성 신호에서 도래 방향 신호를 추정한 그래프이다. 채널이 상관성 신호에서는 1개의 신호만을 추정하였고 2개의 신호를 추정하지 못하였으므로 신호 추정능력이 현저히 떨어진다. 일반적으로 무선 통신환경은 대부분 상관성 신호가 수신안테나에 입사한다. 그러므로 기존의 MUSIC알고리즘만으로는 도래 방향 추정 방법에 적용될 수 없다. 그림 3은 본 연구에서 제안된 MUSIC 알고리즘으로 [-10°, 0°, 10°]에서 원하는 목표물의 신호 도래방향을

모두 추정하였다.

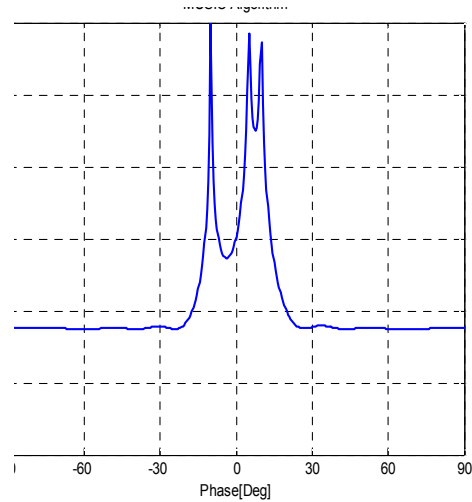


그림 1. MUSIC 알고리즘 도래방향 추정(무상관성 신호)
Fig. 1. DOA of MUSIC Algorithm(Non-Correlation signal)

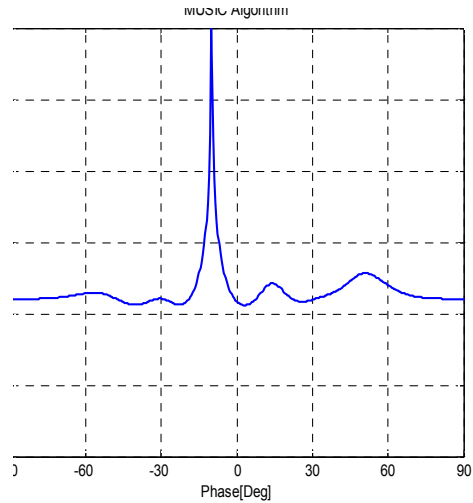


그림 2. MUSIC 알고리즘 도래방향 추정(상관성 신호)
Fig. 2. DOA of MUSIC Algorithm(Correlation signal)

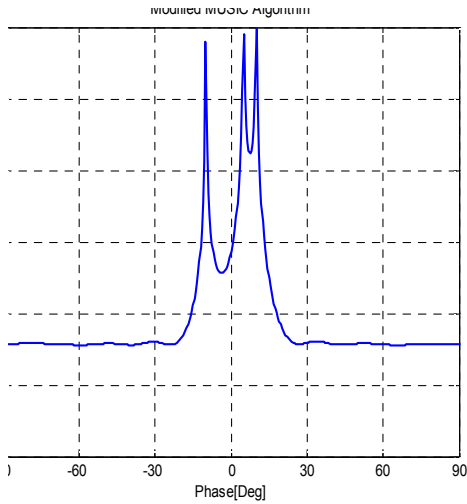


그림 3. 수정된 MUSIC 알고리즘 도래방향 추정
 Fig. 3. DOA of Modified MUSIC Algorithm

5. 결론

본 논문에서는 수정된 MUSIC 알고리즘을 연구하였다. 기존의 MUSIC 알고리즘은 무상관 신호에서는 도래방향을 정확히 추정하지만 상관성 신호에 대해서는 원하는 신호의 도래 방향을 정확히 추정하지 못한다. 본 연구에서 제안된 MUSIC 알고리즘은 특이값 행렬과 베이스 확률 방법을 이용하여 공분산행렬과 최적의 가중치의를 갱신하여 상관성 신호에서 원하는 신호의 도래 방향을 정확히 추정하였다. 모의 실험 에서 도래방향 신호가 무상관인 경우 $[-10^\circ, 0^\circ, 10^\circ]$ 에서 3개의 원하는 신호를 모두추정 하였지만, 상관성 신호에서는 $[-5^\circ]$ 로 원하는 신호를 1개만 추정하였다. 본 연구에서 제안된 방법으로 상관성 신호인 경우에 $[-10^\circ, 0^\circ, 10^\circ]$ 에서 원하는 신호의 도래방향을 모두 추정하였다. 상관성 신호인 경우에 본 연구에서 제안된 방법이 기존의 방법보다 도래 방향 추정 능력이 우수함을 나타내었다.

REFERENCES

- [1] B. Allen and M. Ghavami, "Adaptive Array System", Wiley, Feb, 2005.
- [2] R. O. Schmidt, "Multiple Emitter Location and Signal Parameter Estimation", IEEE Transactions on Antenna and Propagation, Vol. 34, No. 3, pp. 276-280, Mar. 1986
- [3] R. S. Kawitkar and D. G. Wakde, "An Approach for MUSIC Algorithm in Smart Antenna System", IEEE International workshop on IWAT, pp.403-406, Mar, 2005.
- [4] N. Le Bihan, S. Miron, and JI Mars, "MUSIC Algorithm for vector-sensors Array using Biquaternions", IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 55, No. 9, Sept, 2007.
- [5] Zhang Meng Liu, Zhi Tao Huang, and Yi Yu Zhou, "Direction of Arrival Estimation of Wideband Signals via Covariance Matrix Sparse Representation", IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 59, No. 9, 2011.
- [6] Kang Kyoung Sik, "A Study on Adaptive Sparse Matrix Beamforming Algorithm of Error Beam Steering Vector for Target Estiamtion", The Journal of Korea Institute of Information, Electronics, and Communication Technology, Vol.7, No. 2, 2014.
- [7] Gwan U Ga, Sung Min Ham and Kwan Hyeong Lee, "A Study on Angle Spectrum of Arrival using RMS Model Errors Effects", The Journal of Korea Institute of Information, Electronics, and Communication Technology, Vol.6, No. 3, 2013.
- [8] Wei Wang Wei, Xing Sheng, and Bo Yu Qi, "Subaray adaptive array beamforming algorithm based on LCMV", IEEE Microwave Conference Preceedings, Vol. 3, pp. 3-7, Dec. 2005.

저자약력

이 민 수(Min-Soo Lee)

[정회원]



- 1984년 2월 : 한양대학교 전자통신 공학과(공학사)
- 1986년 2월 : 한양대학교 전자통신 공학과(공학석사)
- 1995년 2월 : 한양대학교 전자통신 공학과(공학박사)
- 1995년 3월 ~ 현재 : 대진대학교 전기전자통신공학부 통신공학전공 교수

<관심분야>

RF회로 및 무선통신시스템, 안테나 및 전자파진파