

<http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2013.13.1.89>

JIIBC 2013-1-13

다중 입력 다중 출력 배열 시스템에서 목표물 추정을 위한 상관성 간섭신호 제거 알고리즘 연구

A Study on Correlation Interference Signal Cancellation Algorithm for Target Estimation in Multi Input Multi Output

이관형*, 송우영**, 이명호**

Kwan-Hyeong Lee, Woo-Young Song, Myeong-Ho Lee

요 약 본 연구는 공간상에서 수신기에 입사하는 목표물 도래방향을 추정하는 것이다. 본 연구는 다중 입력 다중 출력 배열 안테나 시스템에서 상관성 간섭신호를 제거하기 위해서 제한 행렬을 이용하여 공분산 벡터를 제시하였고 비용함수와 최소 분산방법을 이용하여 목표물 도래방향을 추정하는 알고리즘을 제안하였다. 모의실험을 통하여 본 연구에서 제안된 알고리즘 성능을 기존 SPT_LCMV 알고리즘과 비교분석하였다. 목표물 도래방향 추정에서 본 연구에서 제안한 방법이 기존 SPT_LCMV 알고리즘보다 우수함을 나타내었다.

Abstract This paper is estimating a target direction of arrival with incident to receiver in spatial. This paper presented covariance using constraint matrix to correlation interference signal cancellation in multi input multi output array antennas system. we proposed a target direction of arrival estimation algorithm using cost function and minimum variance method. Through simulation, we were analysis a performance to compare general SPT-LCMV algorithm and proposal algorithm. We showed that proposal algorithm improve more target estimation than general SPT-LCMV algorithm in direction of arrival.

Key Words : SPT-LCMV, ESPRIT, DOA, Algorithm, MUSIC

1. 서 론

다중 입력 다중 출력 적응 배열 안테나는 간섭신호에 대해서는 영점을 형성하고 원하는 신호의 방향으로는 빔 패턴의 이득을 일정하게 유지하는 시스템이다^[1,2]. 그러나 다중 입력 다중 출력 적응 배열 안테나에 상관성 간섭신호가 입사된다면 배열출력에서 원하는 신호까지 제거시키고 지향오차에 민감한 단점을 가지고 있다^[3-5]. 본 논문에서는 상관성 간섭에 대한 문제점을 해결하기 위하여

자유도의 손실을 최소화하면서 상관성 간섭을 감소시켜 목표물을 추정하는 방법을 제안하였다.

본 연구방법은 상관성 간섭신호의 입사방향을 별도로 추정할 필요없이 임의로 설정된 표본입사각의 지향벡터로 제한행렬을 구성하여 SPT(split polarity transformation) 행렬을 얻는다. SPT행렬은 원하는 신호와 상관성 간섭신호 간의 상관도를 제거한 공분산 행렬을 얻을 수 있기 때문에 상관성 간섭신호가 존재하여도 LCMV(Linearly constrained minimum variance)빔형성기에 적용하여 출

*정회원, 대전대학교 통신공학과

**정회원, 청주대학교 전자공학과

접수일자 : 2012년 10월 18일, 수정완료 : 2012년 12월 28일
계재확정일자 : 2013년 2월 8일

Received: 18 October 2012 / Revised: 28 December 2012 /

Accepted: 8 February 2013

*Corresponding Author: khlee@daejin.ac.kr

Dept. of Communication Engineering, Daejin University, Korea

력에서 원하는 신호를 추정 할 수 있다. 그리고 상관성이 제거된 공분산 행렬로 최적 가중벡터를 생성한다. 최적 가중벡터의 방향 성분을 추정하기 위해서 비유함수와 최소분산방법을 적용하여 원하는 도래 방향의 위치를 추정 한다.

본 연구의 제한방법은 설정된 표본 입사각의 범위내에 실제 상관성 간섭신호의 입사각이 포함되어야 하므로, 표본 입사각은 넓은 범위에 분포되어야 한다. 그러므로 표본 입사각의 개수가 증가할 수록 상관성 간섭신호의 입사각을 포함할 확률은 증가하지만, 배열소자수가 증가 하는 단점이 있다.

본 논문에서는 상관성 간섭을 감소시키는 알고리즘을 제안하고, 제안된 알고리즘으로 지향오차를 감소시켜 원하는 신호를 추정 하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 다중 입력 다중 출력 적응 배열 시스템에서 대해서 서술하고, III장에서는 원하는 신호의 방향을 정확히 추정할 수 있는 알고리즘에 대해서 제안하였다. IV장에서는 모의실험을 통하여 기존 방법과 비교 분석하였고, 마지막으로 V장에서는 결론을 맺었다.

II. 신호 모델

본 연구에서는 M 개의 송신안테나와 N 개의 수신안테나로 구성된 다중 입력 다중 출력 배열 안테나 시스템을 고려한다. N 개의 배열소자에 수신신호는 다음과 같이 나타 낼 수 있다^[6,7].

$$x(t) = A(\theta)s(t) + n(t) \quad (1)$$

여기서 $s(t)$ 는 신호벡터, $A(\theta)$ 는 배열 응답 벡터, $n(t)$ 는 백색잡음으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$s(t) = [s_0(t), s_1(t), \dots, s_p(t)]^T \quad (2)$$

$$A(\theta) = [a(\theta_0), a(\theta_1), \dots, a(\theta_p)] \quad (3)$$

$$n(t) = [n_1(t), n_2(t), \dots, n_N(t)]^T \quad (4)$$

여기서, $i = 1, 2, \dots, p$, T 는 전치행렬, $a(\theta_i)$ 는 $s_i(t)$ 의 지향벡터, $n_j(t)$ ($j = 1, 2, \dots, N$)는 j 번째 소

자의 잡음을 나타낸다. 이때, 출력 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y(t) = w^H x(t) \quad (5)$$

배열 출력의 신호전력은 다음과 같이 나타낸다.

$$E[|y(t)|^2] = w^H R_{xx} w \quad (6)$$

여기서 R_{xx} 는 배열 입사신호의 공분산 행렬로서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{xx} = E[x(t)x^H(t)] \quad (7)$$

빔형성의 가중치는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$w_{opt} = \frac{R_{xx}^{-1} a(\theta_0)}{a^H(\theta_0) R_{xx}^{-1} a(\theta_0)} \quad (8)$$

배열 출력신호 전력은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P(w_{opt}) = \frac{1}{a^H(\theta_0) R_{xx}^{-1} a(\theta_0)} \quad (9)$$

III. 제한 행렬 도래 방향 추정 알고리즘

제한행렬 \hat{A} 를 구성하는 표본입사각과 상관성 간섭신호 사이에 오차가 존재하면 빔 형성기의 성능은 크게 저하되므로, 고차제한조건을 이용하여 입사각의 범위를 증대시키면 실제 값과 임의로 설정된 값 사이에 발행하는 오차를 보상 할 수 있다. 고차 제한조건을 적용한 제한행렬은 다음과 같이 나타낼 수 있다^[8,9].

$$\hat{A} = [a(\theta_0), a(\hat{\theta}_1), a^1(\theta_1), \dots, a(\hat{\theta}_g), a^1(\theta_g), \dots, a^D(\hat{\theta}_g)] \quad (10)$$

여기서 g 는 임의로 설정한 표본 입사각 개수이고, $a^D(\hat{\theta}_g)$ 는 각각 θ_g 방향의 지향벡터에 대한 D 차 미분

을 의미한다. 미분차수가 D 인 고차 제한조건을 사용할 경우, 전체 제한행렬 \widehat{A} 은 표본입사각수 만큼의 부분제한행렬로 나타낼 수 있다^[10,11].

$$\widehat{A}_{1,n} = [a(\phi_0), a(\hat{\theta}_1), a^1(\hat{\theta}_1), \dots, a^D(\hat{\theta}_1)] \quad (11)$$

$$\widehat{A}_{2,n} = [a(\phi_0), a(\hat{\theta}_2), a^1(\hat{\theta}_2), \dots, a^D(\hat{\theta}_2)] \quad (12)$$

⋮

$$\widehat{A}_{g,n} = [a(\phi_n), a(\hat{\theta}_g), a^1(\hat{\theta}_g), \dots, a^D(\hat{\theta}_g)] \quad (13)$$

이 경우 SPT행렬은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_i(\phi_n) = \widehat{A}_i J \widehat{A}_i^H \quad (14)$$

여기서 $i = 1, 2, \dots, g$ 이고, J 는 D 행, D 열차원의 대각행렬이다. 첫 번째 표본입사각으로 이루어진 부분제한행렬 \widehat{A}_1 으로부터 생성된 위상이 반전된 공분산 행렬은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_z = T_i(\phi_n) R_{xx} T_i(\phi_n)^H \quad (15)$$

본 논문에서 제안한 방식으로 원하는 신호와 간섭신호 간의 상관도를 제거한 입력 공분산 행렬은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\overline{R}_{xz} = \frac{1}{2}(R_{xx} + R_z) \quad (16)$$

이때 최적 가중치 벡터는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$w_{ospt} = \frac{\overline{R}_{xz}^{-1} a(\theta)}{a^H(\theta) \overline{R}_{xz}^{-1} a(\theta)} \quad (17)$$

식(22)에서 분모의 지향 벡터는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$M(\theta) = a(\theta)^H \overline{R}_{xz}^{-1}(\theta) a(\theta) \quad (18)$$

여기서 $\overline{R}_{xz}^{-1}(\theta)$ 는 다음과 같이 정의한다.

$$\overline{R}_{xz}^{-1}(\theta) = A^H R_{xx} R_z A \quad (19)$$

$$A(\theta)^H = \begin{bmatrix} \sin\theta a(\theta) \otimes I_M \\ \cos\theta a(\theta) \otimes I_M \end{bmatrix}^H \quad (20)$$

$$A(\theta) = \begin{bmatrix} \sin\theta a(\theta) \otimes I_M \\ \cos\theta a(\theta) \otimes I_M \end{bmatrix} \quad (21)$$

식(23)는 다음과 같이 최적화 형태로 나타낼 수 있다.

$$\min_{a(\theta)} = a(\theta)^H F(\theta) a(\theta), \quad e_1^H a(\theta) = 1 \quad (22)$$

여기서, $e = [1, 0, \dots, 0]^T \in R^{M \times 1}$ 이다. 식(27)를 비용함수로 나타내면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$D(\theta) = a(\theta)^H \overline{R}_{xz}^{-1}(\theta) a(\theta) - \gamma(e_1^H a(\theta) - 1) \quad (23)$$

여기서 γ 는 상수이다. 식(28)을 양변 $a(\theta)$ 에 대해서 미분을 하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial}{\partial a(\theta)} D(\theta) = 2\overline{R}_{xz}^{-1}(\theta) a(\theta) + \gamma e_1 = 0 \quad (24)$$

$$\frac{a(\theta)}{e_1^H \overline{R}_{xz}^{-1}(\theta)^{-1} e_1} = \overline{R}_{xz}^{-1}(\theta)^{-1} e_1 \quad (25)$$

목표물의 도래방향을 추정하기 위해서 DOA는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\theta = \arg \min_{\theta} \frac{1}{e_1^H \overline{R}_{xz}^{-1}(\theta) e_1} \quad (26)$$

IV. 모 의 실험

본 논문에서는 상관성 간섭신호가 존재할 때 기존의 SPT-LCMV방법과 제안된 방법으로 도래방향을 추정 비교 분석하였다. 모의실험에서 배열 안테나 소자는 9개, 배열 소자 간격은 1/2과장으로 하였다. 본 연구에서 제안한 알고리즘으로 원하는 신호와 간섭신호 간의 상관도를

제거하기 위해 도래 방향 추정 신호는 $[10^\circ, 20^\circ, 30^\circ]$ 로 설정하였고, 상관성 간섭신호 입사각은 3° 로 하였다. 그림1은 본 연구에서 제안된 알고리즘으로 $[10^\circ, 20^\circ, 30^\circ]$ 에서 정확하게 목표물을 추정하였다. 그러나 그림2는 기존의 SPT-LCMV방법으로 $[10^\circ, 20^\circ, 30^\circ]$ 에서 도래방향을 추정하였지만, 약 2° 의 오차가 발생하였다. 본 논문에서 제안된 알고리즘은 목표물 도래 방향 추정을 정확히 나타내었지만, 기존의 SPT-LCMV알고리즘은 약 2° 정도의 빔조향 오차가 생겼다. 따라서 본 논문에서 제안한 알고리즘이 기존의 SPT-LCMV알고리즘보다 우수함을 입증하였다. 그림3은 0° 를 기준으로 양의방향과 음의 방향, 즉 $[-20^\circ, 0^\circ, 20^\circ]$ 에서 도래방향을 추정한 그래프이다. 본 연구에서 제안한 알고리즘이 모두 3개의 목표물을 추정하고 있다.

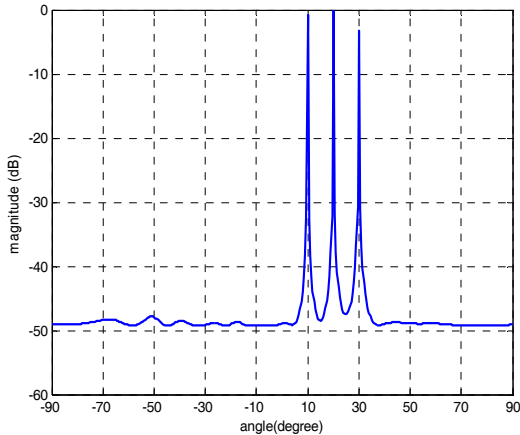


그림 1. 제안 알고리즘 도래방향 추정
Fig. 1. DOA Estimation of Propose Algorithm

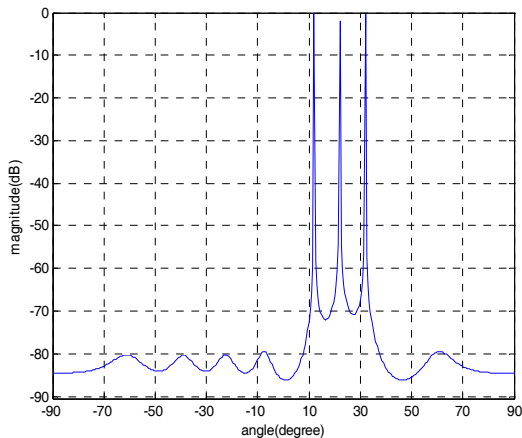


그림 2. SPT-LCMV 알고리즘 도래방향 추정
Fig. 2. DOA estimation of SPT-LCMV algorithm

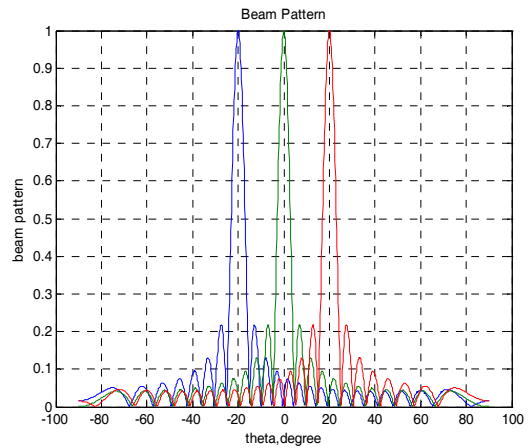


그림 3. 제안 알고리즘 도래방향 추정
Fig. 3. DOA estimation of Proposed algorithm

V. 결론

일반적으로 무선 통신시스템에서는 인공 및 자연구조물로 인해서 다중 경로가 발생한다. 이와같은 다중경로 성분으로 인하여 상관성 간섭신호가 수신 시스템에 입사된다. 상관성 간섭신호가 입사되면 원하는 신호의 성분을 추정하기가 어렵고 시스템 성능이 감소된다. 본 연구에서는 상관성 간섭을 제거하기 위한 알고리즘을 연구하였다. 본 연구에서 제안한 알고리즘은 제한행렬과 공분산 행렬을 구하고 비유합수와 최소분산을 이용하여 원하는 목표물의 도래방향을 추정하는 알고리즘이다. 본 연구에서 제안한 알고리즘의 성능을 분석하기 위해서 기존의 SPT-LCMV방법 비교하였다. 본 연구에서 제안한 방법이 기존의 방법보다 목표물 추정에서 추정 정확도가 향상되었음을 나타내었다.

참고 문헌

- [1] B. Allen and M. Ghavami, "Adaptive Array System", Wiley, Feb, 2005
- [2] Frank.B.Gross, "Smart Antennas for Wirless Communications", Mc Graw Hill, pp. 73-197, Jan, 2005.
- [3] N. Le Bihan, S. Miron, and J.I Mars, " MUSIC Algorithm for vector-sensors Array using Biquaternions", IEEE Transactions on Signal

- Processing, Vol. 55, No. 9, pp. 4523-4533, Sept, 2007
- [4] M. Haardt and J. A. Nossek, "Unitaty ESPRIT : How to Obtain Increased Estimation Accuracy with a Reduced Computational Burden", IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 43, No. 5, pp. 1232-1242, May, 1995
- [5] Jong Hyeuk Ju and Myeong Ho Lee, "A Study on the Optimum weight Method to Adaptive Array Radar", The Journal of Korean Institute of Information Technology, Vo. 6, No. 5, pp. 49-54, Oct, 2008
- [6] 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, pp. 4256-4270, Sep, 2011
- [7] John Litva, "Digital Beamforming in Wireless Communications", AH, 1996
- [8] Koichi Ichige, Yoshihisa Ishikawa, and Hiroyuki Arai, "High Resolution 2-D DOA Estimation Using Second-Order Partial Differential of MUSIC Spectrum", IEEE Conference Circuits and System pp. 1152-1155, May, 2008
- [9] Yameng Jiao, Jianguo Huang, and Yunshan Hou, "Multidimensional MUSIC DOA Estimation Using Ant Colony Optimization Algorithm", IEEE Conference Signal Processing, pp. 291-294, Oct. 2010
- [10] K.H.Lee, "A Study on the Decrease Estimaion time using Covariance Vector Sparse Matrix", Journal of Korea Instiute of Information Technology, Vo.10, No.6, ppp.39-44, Jun, 2012
- [11] K.H.Lee, "A Study on the Multi Target Position Estimation using Multi input multi output Array Antenna sys and 2D MUSIC Algorithm", Journal of Korea Instiute of Information Technology, Vo.10, No.4, ppp.39-44, April, 2012

저자 소개

이 관 형(정회원)



- 1998년 3월 ~ 2004년 8월 : 강릉영동대학정보통신과 조교수
- 2005년 3월 ~ 2007년 2월 : 청주대학교 전자공학부 전임강사 (비정년트랙)
- 2007년 3월 ~ 2010년 2월 : 국방과학연구소

• 2010년 3월 ~ 현재 : 대전대학교 통신공학과 조교수

<주관심분야 : 무선통신, 통신시스템>

• E-mail : khlee@daejin.ac.kr

송 우 영(정회원)



- 1977년 2월 : 연세대학교 전자통신과 (공학사)
- 1981년2월 : 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1998년 2월 : 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
- 1982년3월 ~ 현재 : 청주대학교 전자공학과 교수

공학과 교수

<주관심분야 : 안테나, 초고주파>

• E-mail : microwave@cju.ac.kr

이 명 호(정회원)



- 1979년 2월 : 과운대학교 전자통신과 (공학사)
- 1981년2월 : 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1991년 2월 : 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
- 1984년3월 ~ 현재 : 청주대학교 전자공학과 교수

공학과 교수

<주관심분야 : 데이터통신, 위성통신>

• E-mail : himmel@cju.ac.kr