

상관성 채널 환경에서의 적응배열안테나의 부배열 알고리즘을 이용한 관심신호 추정

이 관 형* · 조 태 준**

A Desired Signal Estimation using Sub-Array Algorithm of Adaptive Array Antenna in Correlation Channel Environment

Lee Kwanhyeong · Cho Taejun

〈Abstract〉

This paper estimate a desired signal in a correlation wireless communication. The transmitted signal is mixed with the information signal, interference, and noise in wireless channel, and it is incident on the receiver. In this paper, we apply MUSIC algorithm and sub-array method to recover the total rank of the correlation matrix in order to estimation a desired signal among receiving signals. Through simulation, we analyze to compare the proposed method with the classical MUSIC algorithm. As a result of the simulation, the proposed method improved the resolution about 10degrees compared to the conventional MUSIC algorithm. We prove the superiority of the proposed method for the desired signal estimation in correlation channel.

Key Words : Adaptive Array Antenna, Estimation, MUSIC, Covariance Matrix, Resolution

I. 서론

무선통신환경에서는 하나의 신호를 전송하더라도 인공구조물 및 자연 환경구조로 인해서 많은 전파경로가 발생하여 수신측에 여러 신호가 입사한다. 수신신호는 정보신호 이외에 간섭, 클러터, 잡음신호 등이 혼합되어 있다. 수신기에 도착한 혼합된 신호에서 관심신호를 추정하는 것은 레이더, 소나, 이동

통신 등에서 중요한 문제로 연구되고 있으며 의료분야에도 연구가 진행되고 있다. 관심신호의 추정방법으로는 AoA, ToA, TDoA, DoA, GPS와 이동통신망을 이용한 방법이 진행되고 있다[1-2]. AoA, ToA, TDoA, DoA는 안테나의 수신신호를 이용하여 도래 방향을 추정하는 방법이다. 이동통신망을 이용한 관심신호의 추정은 통신지역의 셀(cell) 크기에 따라 결정되어서 정확한 신호를 추정하기 어렵고 분해능이 현저히 감소한다. GPS를 이용한 방법은 분해능이 뛰어나지만 인공구조물 및 자연환경에 따라서 관

* 대전대학교 휴먼IT융합학부 부교수(제1저자)

** 대전대학교 건설시스템공학과 부교수(교신저자)

심신호의 추정능력 변화가 심하게 된다.

본 연구에서는 공간상에 전파를 송신하여 물체에 반사된 신호로부터 원하는 목표물의 관심신호를 추정하고자 한다. 수신기의 안테나는 적응배열 안테나로 구성하고 도래방향 추정알고리즘을 이용하여 관심신호를 추정한다. 일반적으로 적응배열 안테나는 원하는 방향으로 빔을 조향할 수 있어 간섭과 잡음에 영점을 지향하고 원하는 신호방향에 대해서는 피크를 찾는 방법이다. 적응배열 안테나의 구성은 배열 소자를 나열하며 원형, 평면, 선형으로 나타낸다. 또한 배열 소자간격을 균일 및 비 균일하게 설정할 수 있다. 본 연구에서는 균일한 선형배열안테나로 설정하였다.

도래방향 추정알고리즘은 빔형성법, Carpon법, 선형예측법, 최소분산법, MUSIC, ESPRIT 등이 있다 [3]. 빔형성법, Carpon법, 선형예측법은 고유치전개와 고유치분해를 시행하기 않기 때문에 계산량이 많지 않는 장점이 있다. 그러나 고유치 전개와 고유치 분해를 시행하는 방법보다 분해능이 좋지 않다. MUSIC과 ESPRIT방법들은 고유치 분해와 고유치 전개를 시행하기 때문에 복잡한 계산량이 많지만 분해능이 우수하여 많은 시스템에 활용되어 사용되고 있다[4].

대부분의 도래방향 고 분해능 알고리즘은 관심신호를 추정하기 위해서 배열 소자 공분산행렬의 고유구조(eigenstructure)를 사용한다. 고분해능 알고리즘은 상관성 신호가 존재할 때와 신호의 수가 배열 소자의 수보다 많을 때는 관심신호를 추정하는 것이 불가능하다. 또한 수신기에 도착한 관심신호를 추정하지 못하는 큰 이유는 상관공분산 행렬의 계수(rank)가 축소되기 때문이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 무선 채널환경의 신호해석에 대해서 서술하였고, III장에서는 부 배열방법과 MUSIC알고리즘으로 관심신호

의 효율적인 추정 방법을 제안하였다. IV장에서는 제안된 방법을 모의실험으로 통하여 분석하였고, 마지막으로 V장에서는 결론을 맺었다.

II. 신호해석

본 연구에서의 관심신호는 잡음과 간섭이 존재하는 환경에서 특정방향(θ_s)로부터 안테나에 입사하는 신호를 나타낸다. <그림 1>은 적응배열 안테나로서 배열 안테나 소자에 신호가 수신되고, 수신기의 도래방향 알고리즘의 가중치를 최적화하여 수신 신호에 가중치를 곱하여원하는 목표물의 관심신호를 추정하는 시스템이다. 관심신호를 추정하기 위해서는 잡음과 간섭신호를 제거하는 것이 필수로서 관심신호를 추정하기 위한 방법 중의 하나가 가중치를 획득하여 원하는 목표물을 추정하는 것이다. 안테나에 입사하는 신호는 협대역이라고 가정하고 N 개의 배열 안테나 소자에 입사하는 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다[5-7].

$$X = [X_1, X_2, \dots, X_N]^T \quad (1)$$

식(1)을 관심신호와 간섭 및 잡음의 형태로 구성된 수신 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$X = \alpha_f \begin{bmatrix} a_1(\theta_s) \\ a_2(\theta_s) \\ \vdots \\ a_N(\theta_s) \end{bmatrix} + \sum_{m=1}^{M-1} s_m \begin{bmatrix} a_1(\theta_m) \\ a_2(\theta_m) \\ \vdots \\ a_N(\theta_m) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ \vdots \\ n_N \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서 α_f 는 관심신호의 진폭이고 $a(\theta_s)$ 은 θ_s 로부터 도착한 관심신호의 위상, $a(\theta_m)$ 은 θ_m 로부터 도착한 간섭신호 위상, n 은 잡음을 나타낸다. 결국 식(2)에서와 같이 안테나에 입사한 신호는 관

심신호, 간섭 및 잡음신호의 혼합된 형태로 구성되며 관심신호를 추정하기 위해서 적응배열안테나를 사용하여 간섭과 잡음을 제거한다. 적응배열안테나는 가중치를 안테나의 수신 신호에 곱해져서 관심신호를 추정한다. 가중치를 곱한 수신신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y(t) = \sum_{k=1}^K W_k^H X_k \quad (3)$$

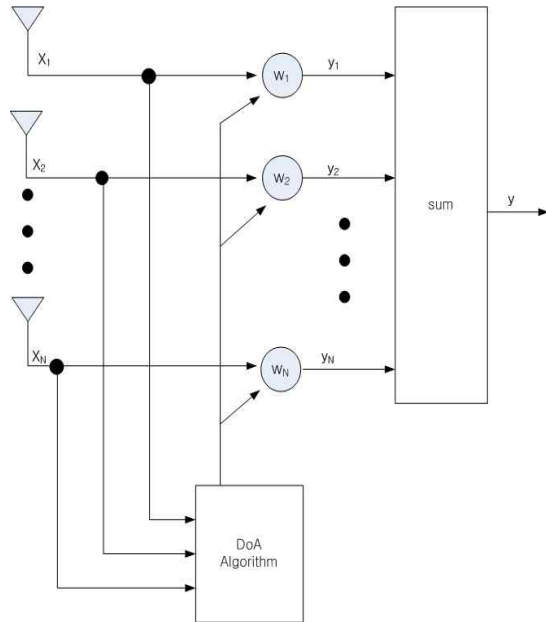
여기서 k 는 안테나에 입사하는 신호 개수를 나타내며 안테나 배열 소자 개수 N 보다 크면 관심신호를 추정할 수 없으므로 대부분의 연구에서 $k < N$ 으로 설정한다. 일반적으로 안테나 배열 소자 개수와 입사신호 개수의 관계는 $K = (N + 1)/2$ 로 나타낸다. 최적 가중치를 획득하기 위해서 배열응답은 다음과 같이 나타낸다.

$$z(\theta) = \exp\left(j2\pi \frac{d}{\lambda} \cos\theta_s\right) \quad (4)$$

여기서 d 는 배열 소자간의 간격이고, λ 는 파장을 나타낸다. 관심신호를 추정하기 위해서는 상관행렬의 전체 랭크를 회복하는 것이 중요하다. 만약 랭크의 크기가 감소하면 공간 차원이 1차원으로 축소되기 때문에 목표물을 정확히 추정할 수 없다. 상관행렬의 신호를 전체랭크로 회복하기 위해서 가중치를 이용한 부 배열의 빔형성을 이용한다. 부 배열의 이득을 θ_s 에 속한 C 라고 가정한다. 상관행렬과 가중치로 구성된 부 배열의 이득관계는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{pmatrix} 1 & \dots & z^{k-1} \\ X_1 - z^{-1}X_2 & \dots & X_k - z^{-1}X_{k+1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{k-1} - z^{-1}X_k & \dots & X_{N-1} - z^{-1}X_N \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_K \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} \quad (5)$$

일반적으로 분해능이 우수한 신호 추정 알고리즘으로 MUSIC, ESPRIT, 최대우도비 등이 있다. 이러한 방법들은 관심신호를 추정하기 위해서 고유치전개 및 고유치 분해를 시행하고 다중 스냅샷 (multiple snapshots) 처리를 시행하며 상관행렬 형성과 공분산 행렬로부터 목표물의 방향을 추정한다. 이러한 알고리즘은 상관성채널에서는 관심신호를 추정하기 위해서 더욱더 많은 신호처리 방법이 필요하며 관심신호와 간섭신호를 구분할 수 처리 능력이 없다. 또한 일반적인 방법으로 클러터, 간섭, 잡음등이 존재하는 환경에서 신호의 목표물을 추정하는 것은 어렵다. 본 연구에서는 잡음 및 간섭신호를 포함한 모든 신호를 추정하지 않지만, 관심신호의 도래 방향을 추정하는 방법을 개선하고자 한다.



<그림 1> 적응배열안테나 시스템

III. 부 배열 방법과 MUSIC알고리즘

적응배열안테나의 수신신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다[8].

$$X(t) = z s(t) + n(t) \quad (6)$$

여기서 $s(t)$ 는 안테나에 도착하는 관심 신호, z 는 배열응답, $n(t)$ 는 잡음신호이다. 수신신호의 공분산 행렬은 다음과 같이 나타낼 수 있다[9-10].

$$R = E[X(t)X^H(t)] = zR_u z^H + \sigma^2 I \quad (7)$$

여기서 R_u 는 신호공분산행렬이고 σ 는 분산, I 은 단위행렬을 나타낸다. 상관성 환경에서 R_u 은 수신기에 입사하는 신호수보다 적어서 계수(rank)가 감소되기 때문에 관심신호를 추정할 수 가 없다. 신호 부공간 기법을 활용한 공간 이동방법을 이용하면 계수가 증가되어 전체계수로 회복할 수 있다. 이 방법의 핵심요소는 부 공간기법으로 배열소자를 중첩하여 계수를 증가시키는 것이다. 단 배열안테나형태가 등간격의 선형 배열에서만 적용할 수 있다. 부 배열을 적용한 수신신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$x_i(t) = z B^{i-1} s(t) + n(t) \quad (8)$$

여기서 B 는 대각행렬의 배열응답이며 부 배열이 적용된 공분산행렬은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{sb} = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^P E[X_i(t)X_i^H(t)] \quad (9)$$

$$R_{sb} = z \left[\frac{1}{P} \sum_{i=1}^P B^{i-1} R_u (B^{i-1})^H \right] z^H + \sigma^2 I \quad (10)$$

여기서 P 는 부 배열의 중첩 개수를 나타낸다. 만약 $P > K$ 면 R_u 는 P 랭크로 회복되어 관심신호를

추정할 수 있다. 일반적으로 도래방향추정 알고리즘은 MUSIC을 의미한다. MUSIC 스펙트럼은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_M = \frac{z^H z}{z^H E_n E_n^H z} \quad (11)$$

여기서 E_n 은 신호 잡음 부공간으로서 고유벡터로 구성된 공분산행렬의 잡음 고유치를 나타낸다.

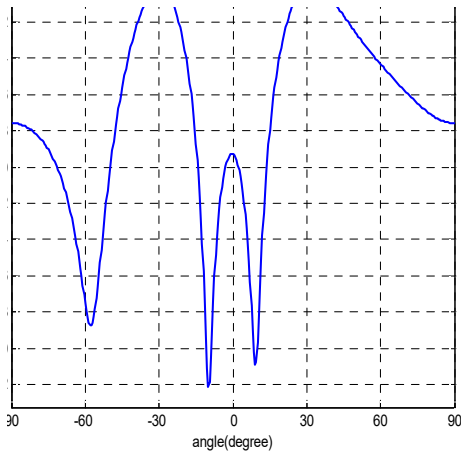
IV. 모의실험

본 장에서는 본 연구에서 제안한 방법과 일반적인 MUSIC알고리즘과 성능을 비교 분석한다. 모의 실험 설정은 다음과 같다.

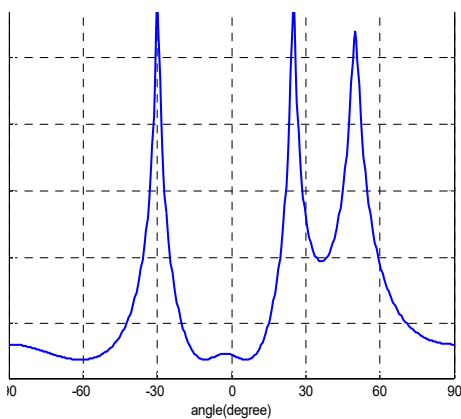
- 균일 선형배열 안테나 소자 수 12개
- 부배열 수 6개
- 배열 안테나 소자 간격은 반 파장
- 스냅샷 수는 150회
- 신호대 잡음비는 20dB
- 목표물 2개
- MUSIC 도래방향 추정알고리즘 적용

<그림 2>는 상관성 채널에서 일반적인 MUSIC알고리즘으로 관심신호를 추정한 그래프로서 목표물은 3개 [-30o 30o 50o]로 분해능은 20o 이상이다. <그림 2>에서는 한 개의 목표물[-30o]을 추정하였고 [0o]에서 허위 목표물을 추정하였다. <그림 3>은 상관성 채널에서 본 연구에서 제안한 부배열 MUSIC알고리즘으로 원하는 목표물의 관심신호를 추정한 그래프로서 목표물은 3개 [-30o 30o 50o]로 분해능은 20o 이상이다. <그림 3>에서는 3 개의 목표물[-30o 30o 50o]을 모두 정확히 추정하였다. <그림 4>는 상관성 채널에서 일반적인 MUSIC알고리

증으로 관심신호를 추정한 그래프로써 목표물은 3개 $[-10^\circ \ 0^\circ \ 10^\circ]$ 로 분해능은 10° 이다. <그림 4>는 <그림 3>보다 분해능이 작아져서 목표물 구별능력이 현저히 감소하였고 한 개의 신호를 추정한 것처럼 보이지만 추정각도는 13° 로서 오차를 갖게 되어 목표물을 추정하지 못하였다. <그림 5>는 상관성 채널에서 부배열 MUSIC알고리즘으로 관심신호를 추정한 그래프로써 목표물은 3개 $[-10^\circ \ 0^\circ \ 10^\circ]$ 로 분해능은 10° 이다. <그림 5>의 그래프는 3개의 관심신호를 모두 추정하였다.

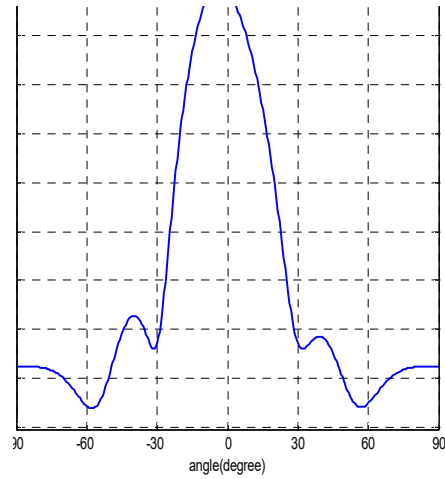


<그림 2> 상관성채널의 MUSIC알고리즘 추정 방향 (분해능 20°)

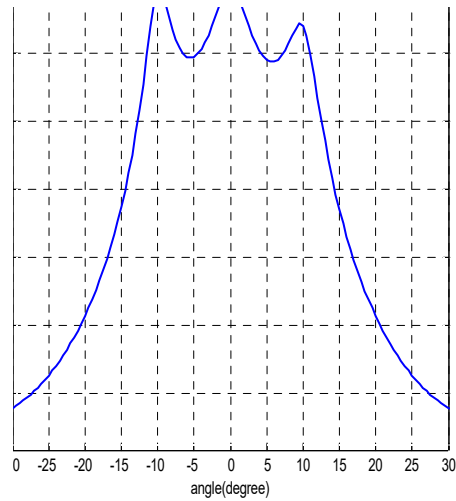


<그림 3> 상관성채널의 부배열 MUSIC알고리즘 추정

방향 (분해능 20°)



<그림 4> 상관성채널의 MUSIC알고리즘 추정 방향 (분해능 10°)



<그림 5> 상관성채널의 부배열 MUSIC알고리즘 추정 방향 (분해능 10°)

V. 결론

본 연구에서는 상관성 채널에서 원하는 목표물의 관심신호를 추정하기 위해서 부배열 MUSIC알고리즘을 제안하였다. 모의실험으로 제안된 방법과 기존의 일반 MUSIC알고리즘과 성능을 비교 분석하였다. 제안된 방법이 기존의 방법보다 분해능이 약 10도 향상된 것을 입증하였다. 그러나 목표물의 분해능을 10도 이하로 설정하면 본 연구에서 제안된 방법으로도 목표물을 정확히 추정하지 못하는 결과를 나타내었다. 분해능을 향상시키기 위한 방법으로는 일반적으로 배열 개구면 크기 증가, 신호대 잡음비 증가, 스냅샷 수 증가, 높은 전력 송신 등과 같은 방법이 있지만 시스템의 최적 성능을 고려 하였을때는 경제성이 효율적이지 못하다. 그러기위해서는 다른 방법의 분해능을 감소시키기 위한 연구가 진행되어야 한다.

참고문헌

- [1] Lal Chand Godara, Smart antennas, CRC Press LLC, 2004.
- [2] Tapan K.Sarkar, Michael C. Wicks, Magdalena Slazar-Palma, and Robert J.Bonneau, Smart Antennas, IEEE Press, 2003.
- [3] Edmond Nicolau and Dragos Azharia, Adaptive Arrays, Elsevier, 1989.
- [4] 이관형, "적응배열 안테나 빔형성 기법을 이용한 CDMA시스템 성능에 대한 연구," 한국정보통신기술학회논문지, 제5권, 제2호, 2012, pp. 68-73.
- [5] 이관형, 송우영, "최급하강법 및 위너 방법을 Bartlett알고리즘에 적용한 무인 이동체 탐지 방법에 대한연구," 한국정보통신기술학회논문지, 제10권, 제2호, 2017, pp. 154-160.
- [6] Rodigo pinto Lemos, Hugo Vincius Leao E Silva, Edda Lucia Flores, Jonas Kunzler, and Diego Femando Burgos, "Spatial Filtering Based on Differential spectrum for Improving ML DOA Estimation Performance," IEEE Signal Processing Letters, Vol.23, No.12, Dec, 2016, pp.1811-1815.
- [7] ML.McCloud and L.Scarf, "A New Subspace Identification Algorithm for High Resolution DOA Estimation," IEEE Trans on Antennas and Propagation, Vol.50, No.10, July, 1975, pp. 1382-1390.
- [8] 이관형, 강경식, "베이즈 방법과 MUSIC 알고리즘을 이용한 간섭과 잡음제거를 위한 원하는 목표물의 도래방향 추정," 한국정보통신기술학회논문지, 제8권, 제5호, 2015, pp. 400-404.
- [9] 양길모, 조성국, 전병국, "이동 목표물 추정 정확도를 향상시키기 위한 고 분해능 최적 빔 지향 패턴에 관한 연구," 디지털산업정보학회, 제10권, 제4호, 2014, pp. 71-78.
- [10] 이준동, 조성국, 전병국, "최적 공분산 가중 벡터를 이용한 상관성 간섭 신호 추정의 빔 지향 오차," 디지털산업정보학회, 제10권, 제4호, 2014, pp. 53-61.

■ 저자소개 ■



2010년 3월~현재
대진대학교 휴먼IT융합학부 교수
2007년 3월~2010년 2월 국방과학연구소
관심분야 : 무선통신, 위치신호추정시스템
E-mail : skc899@gwnu.ac.kr

이 관 형
(Lee Kwanhyeong)



2008년 3월~현재
대진대학교 건설시스템공학과 교수
2013년 University of Michigan 공학박사
2006년 3월~2008년2월 한국철도시설공단
관심분야 : 구조신뢰성공학
E-mail : jeonbk@gwnu.ac.kr

조 태 준
(Cho Taejun)

논문접수일 : 2017년 08월 19일
수정일 : 2017년 09월 07일
게재확정일 : 2017년 09월 15일