한국정보전자통신기술학회논문지(jkiiect)'20-4, Vol.13 No.2
논문 20-13-02-153 http://dx.doi.org/10.17661/jkiiect.2020.13.2.153

# 신호 분해능 향상을 위한 전력스펙트럼 알고리즘 연구

이관형*

# A Study on Power Spectrum Algorithm for Signal Resolution Improvement

Kwan-Hyeong Lee*

**요 약** 본 논문에서는 무선 통신 환경에서 잡음 및 간섭을 제거하여 원하는 목표물을 추정하는 알고리즘을 연구하였다. 잡음과 간섭이 포함된 정보신호가 수신기에 입사하면 원하는 목표물을 정확히 추정하기 어렵기 때문에 잡음 및 간섭 신호를 제거하는 방법이 필수적이다. 수신 신호영역을 두 공간으로 분리하기 위해서 상관행렬, 공분산, 고유특성벡터, 고유치를 분석하여 전력 스펙트럼을 획득한다. 제안한 전력 스펙트럼은 잡음을 제거할 수 있는 알고리즘으로서 목표물 추정 성능을 분석하기 위해서 기존의 알고리즘과 모의실험을 통해서 확인한다. 모의실험 결과로, 기존 알고리즘의 목표물방향 추정 분해능은 10°이상이지만, 제안 알고리즘의 분해능은 10°미만을 나타내었다. 제안 알고리즘이 기존 알고리즘보다 약 5°의 분해능이 향상 되었다. 본 연구에서 제안된 알고리즘이 목표물 추정 정확도와 분해능이 기존 알고리즘보다 우수함을 입증하였다.

**Abstract** In this paper, we studied an algorithm for estimating a desired target by removing noise and interference in a wireless communication environment. When an information signal with a mixture noise and interference receive a receiver, noise and interference signals must be removed to accurately estimate a desired target. In order to divide the received signal region into two spatial, a power spectrum is obtained by analyzing a correlation matrix, covariance, eigen vector, and eigen value. The proposed spectrum is an algorithm that can remove noise and interference, and analyzes the existing algorithm and target estimation performance through simulation. As a result of simulation, the target estimation resolution of existing algorithm is more than 10°, but the resolution of the proposed algorithm is less than 10°. The proposed algorithm has improved the resolution of about 5° than the exiting algorithm. The proposed algorithm proved that the target estimation accuracy and resolution are superior to the existing algorithm.

**Key Words** : Interference, Noise, Autocorrelation, Signal sub spatial, Eigen vector, Eigen value

## 1. 서론

레이더에서 간섭신호 발생은 송신 신호가 목표물에 반사되어 돌아오는 다중경로 신호와 다른 시스템에서 송신된 신호가 혼합되어 발생된다. 또한 잡음 신호가 송신신호에 더해져서 수신기에 도착하기 때문에 수신기에서는 간섭과 잡음 등으로 인해서 정보신호를 획득하는 것이 어렵다. 이와같은 현상은 수신기에서 원하는 정보를 획득하기 위해서는 많은 문제점이 발생되며 선점적으로 간섭과 잡음을 제거하는 기술들이 필수적이다. 된다. 원하는 정보신호를 획득하기 위해서 간섭과 잡음을 제거하는 방법을 신호처리 기술이라고 한다. 통신시스템의 신호처리 기술은 레이더, 수중음파탐지, 의료분야, 이동통신 등 많은 분야에서 사용되고 있다. 신호처리 기술은 안테나 편파방법, 배열 안테나 모양 및 개구면 확장, 적응배열

*Division of Human IT Convergency, Daejin University
Received April 13, 2020 Revised April 21, 2020 Accepted April 22, 2020

알고리즘, 도래방향 추정알고리즘, 빔 형성 알고리즘 등 많은 연구가 진행 되고 있다.

본 논문에서는 원하는 정보신호를 획득하기 위해서 간섭과 잡음을 제거하기 위한 방법을 연구한다. 연구방법은 수신신호를 잡음 영역과 신호 영역으로 분리한다. 분리된 영역 신호를 직교하면 간섭과 잡음 신호를 제거 할 수 있다. 신호를 분리하기 위해서 상관행렬, 공분산, 윈도우, 고유특성벡터, 고유특성값 등을 분석하여 전력스펙트럼 알고리즘을 제안한다. 제안한 전력스펙트럼을 이용하면 간섭과 잡음이 제거된 원하는 신호 성분을 획득할 수 있다. 제안된 알고리즘의 성능을 확인하기 위해서 모의실험으로 기존 도래방향 추정 알고리즘과 비교한다.

본 논문의 구성은 2장에서는 no-parametric방법의 이산푸리에변환 ((DFT:Discrete Fourier Transform)방법을 이용한 신호 해석에 대해서 설명하고 3장에서는 원하는 신호정보를 획득하기 위해서 상관행렬을 이용한 신호영역과 공간영역으로 구분하기 위한 잡음제거 방법을 논의한다. 4장에서는 제안 알고리즘과 기존 알고리즘의 성능을 비교분석하고 끝으로 5장에서는 결론을 맺는다.

## 2. Non Parametric 신호 분석

잡음 및 간섭신호를 처리하는 일반적인 전력스펙트럼 방법은 윈도우 기반 방법(window-based method)의 non-parametric방법을 사용한다. 이 방법의 장점은 계산양이 단순하여 효과적으로 신호 간섭을 제거할 수 있으나 주어진 데이터의 크기에 따라서 처리함으로 데이터의 크기가 작거나 샘플링이 낮은 데이터인 경우 낮은 주파수 해상도에 의존하여 스펙트럼 계산 오차가 발생한다는 것이다. 이러한 방법으로는 이산푸리어변환(DFT:Discrete Fourier Transform)방법을 이용한 주기도(periodograms)에 의한 스펙트럼 분석 방법이 있다. 푸리어 변환 방법을 사용하기 위해서는 신호대 잡음비가 충분히 높아야 하고 데이터의 샘플링 시간을 짧게하여 높은 주파수 해상도를 요구한다. 특히 주파수 스펙트럼 성분이 서로 근접한 경우에는 각각의 스펙트럼 구별이 쉽지 않다. 스펙트럼의 주기도 신호처리 방법은 윈도우 기반의 주기도 방법으로 데이터 시퀀스($x(n),\quad n=0,1,\cdots,N-1$)가 주어질 때 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P(e^{jw}) = \sum_{k=0}^{N-1} r_x(k)\, e^{-jw} \tag{1}$$

식(1)에서 $r(k)$는 수신신호이고, $w$는 각주파수를 나타낸다. 스펙트럼의 주기도는 $x(n)$의 이산 푸리어 변환인 $X_N(e^{jw})$으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P(e^{jw}) = \frac{1}{N}\left| X_N(e^{jw}) \right|^2 \tag{2}$$

식(2)에서 스펙트럼 주기도의 공분산은 신호 전력과 같기 때문에 데이터 크기가 커져도 스펙트럼 분석에서 일관성을 유지하기가 어렵다. 일반적으로 주기도에 의한 스펙트럼 분석은 기본적으로 사각형 윈도우(rectangular window)를 사용하여 스펙트럼 분석을 한다. 간섭영향이 증가하고 낮은 감쇄(low attenuation)에서는 주엽(main lobe)스펙트럼 성분보다 부엽(side lobe)성분이 나타난다. 주파수 성분이 상호 근접하고 특정 성분이 상대적으로 강한 신호 에너지를 갖는 경우 약한 주파수 성분은 강한 주파수 성분에 의해 사각형 윈도우 영향으로 마스킹(masking)이 되어 신호 구분이 어렵다.

주파수 성분에 대한 상호 상대적 영향이 크지 않으면 비교적 주파수 성분 구분이 가능하나 잡음 및 간섭에 의한 영향을 받는 주기도의 스펙트럼은 상대적으로 주파수 성분을 구분하기 어렵다. 이와같은 현상을 보상하기 위한 방법으로 다른 윈도우를 선택하여 보완할 수 있지만 주파수 해상도를 낮추어야 하는 문제점을 갖고 있다.

## 3. 잡음 및 간섭신호 제거 알고리즘

일반적으로 잡음을 포함하는 신호는 정보신호에 잡음성분이 더해져서 고조파 정형(harmonic sinusoidal)신호로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$x(n) = s(n) + N(n) \quad (3)$$

식(3)에서 $s(n)$은 신호성분, $N(n)$은 잡음신호 성분이다. 식(3)을 삼각함수 모델신호로 표현하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$x(n) = \sum_{k=1}^{K} a_k \cos(nw_k + \theta_k) + N(n) \quad (4)$$

여기서 $a_k$는 신호의 세기, $\theta_k$는 신호위상, $w_k = 2\pi f$의 주기를 갖는 주파수 성분이다. 식(4)는 다음과 같이 복소지수함수로 표현할 수 있다.

$$x(n) = \sum_{k=1}^{K} A_k e^{jnw_k} + N(n) \quad (5)$$

식(5)에서 $A_k = |A_k| e^{j\theta_k}$로서 $k$번째 고조파 신호성분의 복소수 크기를 나타내며 다음과 같이 신호성분을 표현 할 수 있다.

$$s_k(n) = \sum_{k=1}^{K} A_k e^{jnw} \quad (6)$$

식(4)와 식(5)에서 신호의 세기는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$a_k = 2|A_k| \quad (7)$$

식(4)와 식(5)의 고조파 모델을 이용하여 신호에 포함된 주파수 성분과 전력을 계산할 수 있다. 식(5)에서 데이터 시퀀스 크기 $L = (N+M-1)$의 $x(n)$에 대해서 자기상관(autocorrelation)행렬은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{ac} = \frac{1}{N} B^H B \quad (8)$$

식(8)에서 자기상관행렬은 $M \times M$ 차원, $(\,)^H$는 복소공액행렬(complex conjugate matrix)이다. $M$은 $x(n)$에 의해 확장된 공간의 차원이다. 식(8)의 데이터 행렬 $B$는 $N \times M$의 크기로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$B = \begin{bmatrix} B(0) & B(1) \cdots & B(M-1) \\ B(1) & B(2) \cdots & B(M) \\ \vdots & \vdots \ddots & \vdots \\ B(N-1) & B(N) \cdots & B(M+N-1) \end{bmatrix} \quad (9)$$

식(9)에서 $M$은 행 데이터 벡터의 시간 윈도우 길이를 나타낸다. 식(8)의 자기상관행렬에 대한 영역을 신호공간($R_s$)과 잡음공간($R_N$)으로 나타내기 위해서 식(5)를 식(8)에 대입하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{ac} = R_s + R_N = DPD^H + \sigma^2 I \quad (10)$$

여기서 $\sigma^2$은 잡음의 분산이고, $I$는 대각행렬,대각행렬 성분 $P = diag[A_1^2, A_2^2, \cdots, A_K^2]$, 신호성분 $D = [e_1, e_2, \cdots, e_K]$ 이다. $e_i$는 고유 특성벡터(eigen vectors)로서 다음과 같이 나타낸다.

$$e_i = [1, e^{jwt}, e^{j2wt}, \cdots, e^{j[M-1]wt}] \quad (11)$$

여기서 $n = 1,2,\cdots,K$이다. 자기상관행렬에 대한 고유 특성값($\lambda_i$)과 고유 특성벡터를 계산하면 잡음을 제거한 데이터를 획득 할 수 있다. 자기상관행렬이 완전한 전체랭크(full lank)을 갖는다면 고유특성값(eigen values)은 내림차순으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq, \cdots, \lambda_M \quad (12)$$

식(12)에 대응하는 고유 특성벡터($c_i$)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{ac} c_i = \lambda_i c_i \quad (13)$$

여기서 $i = 1,2,\cdots,M$이다. 식(13)에서 고유 특성벡터는 두 개의 공간으로 구분할 수 있으며 첫 번째 공간의 $K$의 고유 특성벡터는 신호 부공간내에서 가장 큰 고유 특성 값에 의한 특성벡터이고, 나머지 고유 특성벡터는 잡음 부공간내에서 속한 특성벡터를 나타낸다. $i = 1,2,\cdots,K$에 해당하는 특성벡터는 신호벡터를 나타내고, $i = K+1,\cdots,M$은 잡음 특성벡터를 나타낸다. 두 공간은 직교벡터(orthogonal vector)로서 신호 부공간과 잡음 부공간의 직교성으로 신호가 존재하는 전력스펙트럼밀도로서 잡음을 제거한 신호를 획득할 수 있다. 특성벡터를 이용한 스펙트럼 밀도는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_s = \left( \sum_{i,k=1}^{M} \left| e^H c_i \right|^2 \right)^{-1} \quad (14)$$

## 4. 모의실험

본 장에서는 모의실험을 통해서 제안 알고리즘과 기존 MUSIC 알고리즘의 성능을 비교 분석한다. 모의실험은 매트랩을 사용하였으며 그래프의 곡선이 3개로 나온 것은 프로그램 grid함수의 위치에 따라 나타난다. 프로그램에서 grid값을 나중에 사용하면 하나의 그래프로 표시되지만 결과의 강조성을 나타내기 위해서 여러개의 선으로 표시하였다. 그림1은 기존 알고리즘으로 [-30° -10° 0°]에서 3개의 목표물을 추정한 그래프이다. 그림1의[0°]에서는 목표물 방향을 추정하지 못할 수 있다. 그림2는 제안 알고리즘으로 [-30° -10° 0°]에서 3개의 목표물을 추정한 그래프로서 3개 목표물을 추정하고 있다.그림3은 0도를 기준으로 양의 방향에 대해서 기존 알고리즘으로 [0° 10° 30°]에서 3개의 목표물을 추정한 그래프이다. 그림3의 [10°]에서 목표물 방향에 대한 추정치가 정확하지 않다. 그림4는 제안 알고리즘으로 [0° 10° 30°]에서 3개의 목표물을 추정한 그래프로서 그림3보다 3개의 목표물을 정확히 추정한다. 그림5는 기존 알고리즘으로 [0° 5° 10°]에서 3개의 목표물을 추정한 그래프로서 3개의 목표물 추정하지 못한다. 그림6은 기존 알고리즘으로 [0° 5° 10°]에서 3개의 목표물을 추정한 그래프로서 그림5와 같이 3개의 목표물 추정하지 못한다. 그러나 그림6은 그림5보다 목표물을 두 개 추정하고 있음을 나타낸다.

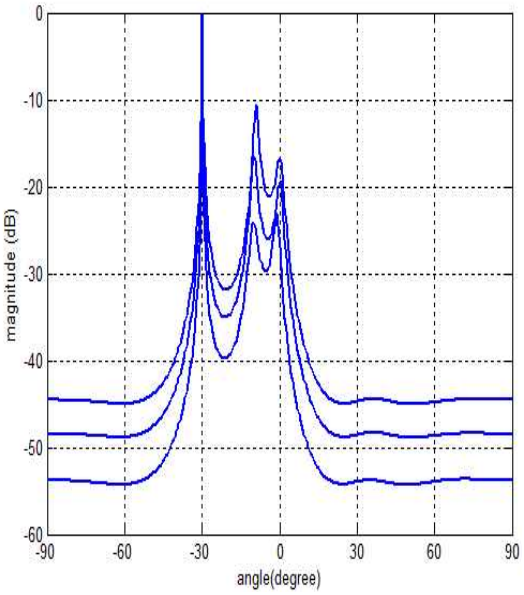


그림 1. 기존알고리즘 목표물 추정[-30° -10° 0°]
Fig. 1. Estimation of target by exiting algorithm at [-30° -10° 0°]

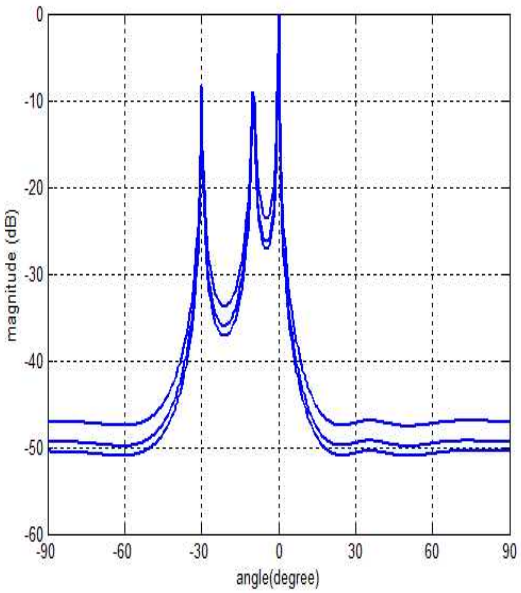


그림 2. 제안알고리즘 목표물 추정[-30° -10° 0°]
Fig. 2. Estimation of target by proposal algorithm at [-30° -10° 0°]

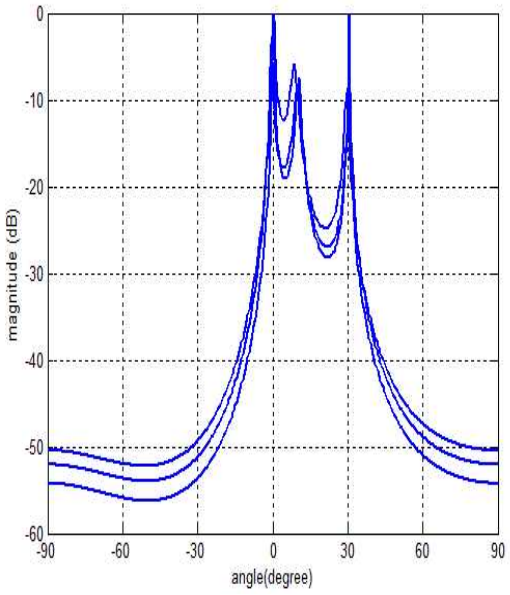


그림 3. 기존알고리즘 목표물 추정[0° 10° 30°]
Fig. 3. Estimation of target by exiting algorithm at [0° 10° 30°]

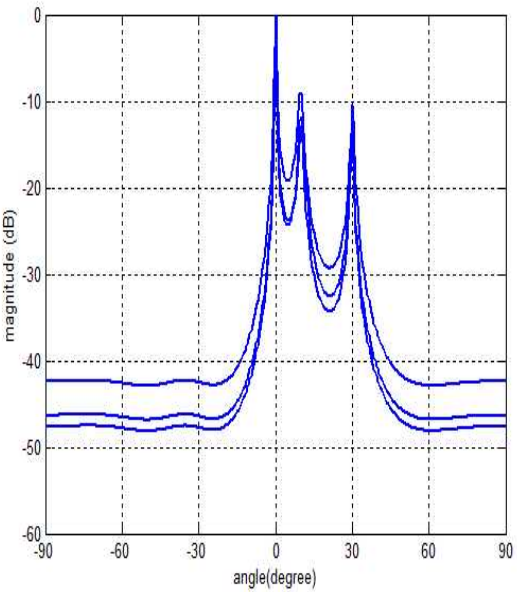


그림 4. 제안알고리즘 목표물 추정[0° 10° 30°]
Fig. 4. Estimation of target by proposal algorithm at [0° 10° 30°]

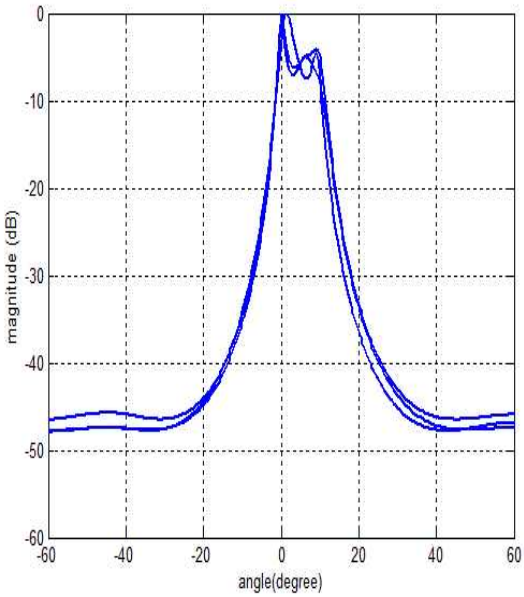


그림 5. 기존알고리즘 목표물 추정[0° 5° 10°]
Fig. 5. Estimation of target by exiting algorithm at [0° 5° 10°]

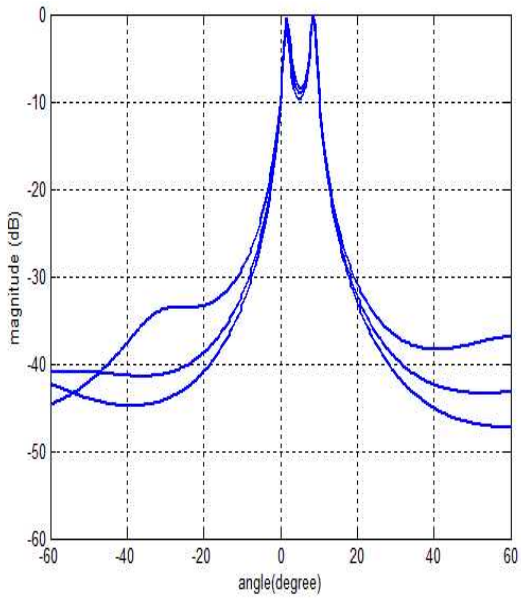


그림 6. 제안알고리즘 목표물 추정[0° 5° 10°]
Fig. 6. Estimation of target by proposal algorithm at [0° 5° 10°]

## 5. 결론

본 논문에서는 목표물을 추정하기 위해서 제안 알고리즘을 연구하였다. 제안 알고리즘의 성능을 확인하기 위해서 모의실험으로 기존 알고리즘과 성능을 비교하였다. 모의실험 결과 분해능이 [5°] 이상에서는 제안 알고리즘이 기존 알고리즘보다 목표물 추정 성능이 우수함을 입증하였다. 분해능이 [5°]이하에서는 제안알고리즘도 목표물을 정확히 추정하지 못하는 단점이 발생하였다. 향후 이 부분에 대한 분해능 감소에 대한 방법으로 공간평균법, 주파수 이동법, 상관행렬의 최적 가중치계산, 빔 형성알고리즘, 적응배열안테나 등에 대한 연구가 진행 되어야 될 것으로 사료된다.

## REFERENCES


[1] Mark A.Richards, “Fundamentals of Radar Signal Processing”, McGraw-Hill, 2005.

[2] Harry L.Van Trees, “Optimum Array Processing”, Wiley, Feb, 2002.

[3] S. Unnikrishna Pillai, “ Array Signal Processing”, Springer-Verlag, 1989.

[4] Merril.I.skolnik,“Introduction Radar System,” McGraw-Hill, 2000.

[5] Bassem R and Mahafza, “Radar System Analysis and Design using Mathlab,” Chapmn&Hall CRC, 2000.

[6] B. Allen and M. Ghavarri, “Adaptive Array Sys tem”, Wiley, Feb, 2005.

[7] Lal Chand Godara “Smart Antennas”, CRC press, 2004.

[8] B.L.F.Daku and C.M.Mclntyre,“Short Time Correlator Delay Estimation in the Presence of Interfering Source,” Proc .IEEE ICASSP, 1996.

[9] K.H.Lee and W.Y.Song, “A Study on Unmanned Vehicles Estimation using Steepest Descent , Wiener and Bartlett Algorithm”, KIIECT, Vol.10, No.2, pp.154-160, April, 2017.

[10] Bin Liao, Lei Huang, chongtao Guo, and Hign cheung So, “New Approaches to Direction of Arrival Estimation With Sensor Array in Unknown Nonuniform Noise”, IEEE Sensors, Journal, Vol.16, No.24, pp.8982-8989, Dec, 2016.

[11] K.W.Lo, “Adaptivity of a real-symmetric array by DOA estimation and null steering”, IEE Proceedings- radar ,sonar and Navigation, Vol.144, No.5, pp.245-251, Oct, 1997.

[12] M.Zoltowski, and F.Haber, “ A Vector space approach to direction finding in a coherent multipath environment”, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol.34, No.9, pp.1069-1079, Jan, 2003.


### 저자약력


**이 관 형(Kwan-Hyeong Lee)** **[종신회원]**

- 2007년 3월 ~ 2010년 2월 : 국방과학연구소 근무
- 2010년 3월 ~ 현재 : 대진대학교 휴먼IT융합학부 교수

〈관심분야〉 무선통신, 위치추적, 센서네트워크