

# 상관신호에 대한 압축센싱 기반 도래각 추정

서영광, 손우성, 김형남  
부산대학교

iloverey@pusan.ac.kr, sonws1230@pusan.ac.kr, hnkim@pusan.ac.kr

## Compressive Sensing based DOA Estimation for coherent signals

Seo Young Kwang, Son Woo-Sung, Kim Hyoung-Nam  
Pusan National Univ.

### 요약

능동 레이더 및 소나에서는 상관도가 높은 다중 경로 신호가 존재하는 경우가 많으며, 이러한 상황에서는 상관신호에 대한 도래각 추정이 가능한 기술은 매우 유용하다. 본 논문은 상관신호에 대한 도래각 추정을 위해 압축센싱 기반의 복원 알고리즘을 이용한 도래각 추정 기법을 다루며, 모의실험을 통해 압축센싱 기반의 도래각 추정 기법이 수신신호의 상관도와 관계없이 도래각 추정이 가능함을 보인다.

### I. 서론

능동위상배열 안테나를 이용한 도래각 추정 기술은 레이더, 소나, 통신 등 다양한 응용 분야에서 널리 사용되고 있으며, 지난 수십 년 동안 Capon 및 multiple signal classification (MUSIC)과 같이 높은 분해능을 가지는 도래각 추정 기법들이 제안되었다. MUSIC 과 같은 부공간 기반 도래각 추정 기법들은 높은 분해능과 뛰어난 도래각 추정 정확도를 가지는 장점이 있다. 하지만 신호원의 개수에 대한 사전정보가 필요하며, 상관신호에 대한 도래각 추정을 위해서는 추가적인 신호처리 과정이 요구되어 전체 연산량이 증가하는 문제점이 있다[1].

최근에는 이러한 문제점을 해결하고 좀 더 뛰어난 도래각 추정 분해능을 얻기 위해 압축센싱의 복원 알고리즘을 적용한 도래각 추정 기법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 논문에서는 다양한 복원 알고리즘 중에서 수신 신호원의 차원이 크지 않는 배열신호처리에 적합한 regularized multiple focal underdetermined system solver (RM-FOCUSS) 알고리즘을 이용하여 상관신호에 대한 도래각 추정 문제를 다룬다[2].

본 논문의 구성은 다음과 같다. II 장에서는 압축센싱 기반 도래각 추정을 소개하고 III 장에서는 RM-FOCUSS 알고리즘을 설명한다. 그리고 IV 장에서 모의실험을 통해 상관신호에 대한 도래각 추정 스펙트럼을 비교 분석하고 마지막 V 장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

### II. 압축센싱 기반 도래각 추정

압축센싱은 측정벡터  $\mathbf{y}$ 로부터 일부 원소만이 0 이 아닌 성긴벡터  $\mathbf{x}$  를 복원하는 문제를 다루며, 성긴벡터  $\mathbf{x}$  와 측정벡터  $\mathbf{y}$  의 관계는 식 (1)과 같은 미결정 선형 방정식으로 나타낸다.

$$\mathbf{y} = \Phi\Psi\mathbf{x} \quad (1)$$

여기서  $\Phi$  는 압축을 위한 랜덤행렬,  $\Psi$  는 기저행렬로 압축센싱을 적용하는 시스템을 표현한다. 측정벡터  $\mathbf{y}$  로부터 성긴벡터  $\mathbf{x}$  의 추정은 basis pursuit (BP)와 같은 콘벡스 최적화 기반 복원 알고리즘, orthogonal matching pursuit (OMP)와 같은 greedy 기법 등 다양한 복원 알고리즘으로 수행할 수 있다.

압축센싱 기반의 도래각 추정은 복원 알고리즘을 통해 측정벡터  $\mathbf{y}$  로부터  $\mathbf{x}$  를 복원하고  $\mathbf{x}$  의 0 이 아닌 원소의 위치로부터 이에 대응하는 도래각을 추정한다.

### III. RM-FOCUSS 알고리즘

미결정 선형 방정식을 제한조건으로 콘벡스 최적화 문제에서  $\mathbf{x}$  를 추정하기 위해서 복원 알고리즘은 다양한 비용함수를 사용한다. 압축센싱의 대표적인 복원 알고리즘인 basis pursuit (BP)는 성긴벡터  $\mathbf{x}$  의  $L_1$ -norm 을 이용하며, FOCUSS 알고리즘은 식 (2)의 비용함수의 최소화로부터 식 (3)과 식(4)의 반복적 기법으로 유도된다.

$$E^{(p)}(\mathbf{x}) = \text{sgn}(p) \sum_{i=1}^n |\mathbf{x}[i]|^p, \quad p \leq 1 \quad (2)$$

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{W}_{k+1} (\mathbf{A}\mathbf{W}_{k+1})^\dagger \mathbf{y} \quad (3)$$

$$\mathbf{W}_{k+1} = \text{diag} \left( |\mathbf{x}_k|^{1-p/2} \right) \quad (4)$$

RM-FOCUSS 알고리즘은 다중 측정벡터로부터 성긴행렬을 추정하며, 잡음이 존재하는 상황에서 동작하기 위해 정규화값을 추가로 적용하여 유도된다.

### IV. 모의실험

상관신호에 대한 도래각 추정 스펙트럼을 확인하기 위해 15 개의 센서로 구성된 선형 배열 안테나에 상관도가 1 인 2 개의 신호원이  $-5^\circ$  와  $5^\circ$  의 방향으로

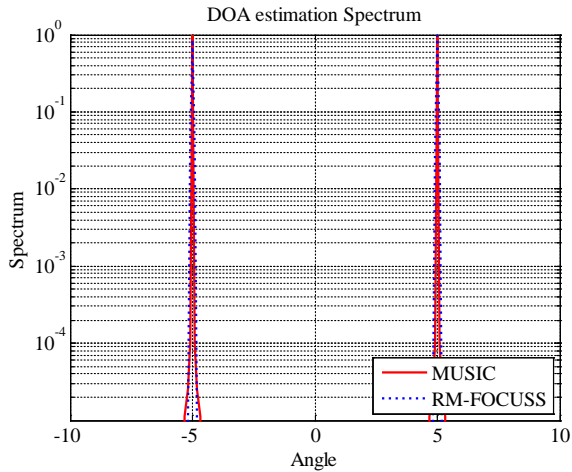


그림 1. 비상관신호에 대한 도래각 추정 스펙트럼.

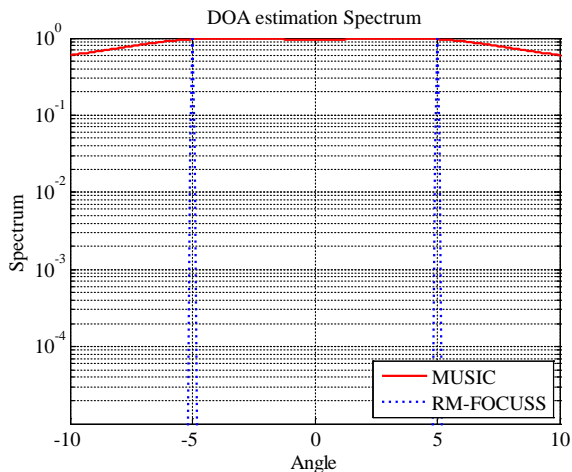


그림 2. 상관신호에 대한 도래각 추정 스펙트럼.

수신되는 상황에서 도래각 추정 모의실험을 수행하였다. 신호의 상관 유무에 따른 영향만 중점적으로 분석하기 위해서 잡음이 없는 환경에서 수행되었으며, 총 20 개의 스냅샷 데이터로부터 도래각 추정 스펙트럼을 얻었다.

그림 1 은 상관도가 0 인 2 개의 신호원에 대한 MUSIC 과 RM-FOCUSS 의 도래각 추정 스펙트럼이며, 그림 2 는 상관도가 1 인 2 개의 신호원에 대한 도래각 추정 스펙트럼이다. 압축센싱의 복원 알고리즘인 RM-FOCUSS 를 적용한 경우, 신호의 상관도와 관계없이 도래각을 추정할 수 있음을 확인할 수 있다.

## V. 결론

본 논문에서는 압축센싱 기반 도래각 추정 기법이 입사신호의 상관도와 관계없이 도래각 추정이 가능함을 확인하였다. 시뮬레이션 결과 입사신호의 상관도가 높은 상황에서는 MUSIC 의 도래각 추정 스펙트럼이 열화되는 반면에, RM-FOCUSS 의 도래각 추정 스펙트럼은 변화가 없는 것을 확인하였다.

도래각 추정이 적용되는 대부분의 실제 환경에서는 상관도가 높은 다중경로 신호가 존재하기 때문에 표적신호와 다중경로 신호를 구분할 수 있는 압축센싱 기반의 도래각 추정 기법이 많은 응용 분야에서 유용하게 사용될 것으로 기대된다.

## ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2016 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임 (2014R1A1A2056013)

## 참 고 문 헌

- [1] Ralph O. Schmidt, "Multiple Emitter Location and Signal Parameter Estimation," *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 34, no. 8, pp. 276-280, Mar. 1986.
- [2] Shane F. Cotter, Bhaskar D. Rao, Kjersti Engan, Kenneth Kreutz-Delgado, "Sparse Solutions to Linear Inverse Problems with Multiple Measurement Vector," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 50, no. 7, July. 2005