

디지털 빔형성기 및 빔공간 MUSIC 알고리즘을 이용한 고해상도 입사각 추정

이순우, 박영진, 김관호
한국전기연구원 전기정보망그룹
{rheesw, yjpark, khkim}@keri.re.kr

Estimation of high resolution DOA using digital beamformer and beamspace MUSIC algorithm

Soon-woo Lee, Young-Jin Park, Kwan-ho Kim
Korea Electrotechnology Research Institute

요 약

본 논문은 선형배열 센서/안테나 기반의 입사각 추정 방식에 관한 것으로, 기존의 입사각 추정 방식인 빔형성기 (beam forming) 방식과 빔공간 MUSIC (Multiple Signal Classification) 방식을 이용하여, 임의의 방위각에서 동시에 입사되는 다수 개의 신호의 입사각을 정밀하게 추정할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 실험결과 선형 배열 센서/안테나의 개수보다 많은 신호의 입사각을 기존 MUSIC 알고리즘 보다 더욱 정밀하게 추정할 수 있었다.

I. 서론

선형배열 센서/안테나를 이용한 신호의 입사각 추정은 스마트 안테나, 소나(Sonar), 차량용 레이더 등에서 다양하게 응용될 수 있다. 신호의 입사각을 추정하는 방법에는 빔형성기를 이용하는 방식과 고유치 분해를 이용하는 방식이 있다.[1]

빔형성기를 이용하는 방식은 검출 하고자 하는 방향에 따라 센서로 수신되는 신호에 시간 지연을 적절히 줌으로써 그 방향의 신호만을 강조하는 방식으로, 인접한 입사 신호간의 각 분리도는 떨어지나 일반적으로 입사신호의 개수에 관계없이 입사각 추정이 가능하며 두 개 이상의 신호가 coherent 한 경우에도 잘 추정할 수 있다.

반면에 고유치 분해를 이용하는 방식은 센서의 수신 신호를 이용하여 공분산 행렬을 만들고, 이를 고유치 분해 함으로써 잡음 부공간을 추출하고 신호성분과 잡음 부공간의 직교성질을 이용하여 입사각을 추정하는 방식으로써 전자에 비해 인접한 입사 신호간의 각 분리도는 좋으나 배열 센서의 개수에 따라 추정가능한 최대 신호 개수가 제한되며, 특히 coherent 한 신호를 분리하기 위해서는 공간 smoothing 등의 방법을 이용해야 하나 이 때에도 non-coherent 신호에 비해 인접한 신호간의 각 분리도가 떨어지는 단점이 있다.[2]

이에 본 논문에서는 적은 수의 센서로도 여러 방향에서 입사하는 다양한 신호들의 입사각을 정밀하게 추정하기 위해, 1) 빔형성기를 통해 개략적인 신호분포를 획득하고 2) 빔공간 MUSIC(MULTiple SIGNAL Classification)을 이용하여 예상 구간 내의 입사 신호만을 정밀하게 추정하였다.

본문에서는 먼저 빔형성기 및 빔공간 MUSIC에 대해 설명하고 다음으로 제안한 알고리즘을 소개하며 마지막으로 실험결과를 통해 그 성능을 분석하였다

II. 빔형성기를 이용한 입사각 추정

그림 1 과 같이 D 개의 협대역 신호가 M 개의 센서로 구성된 선형배열 센서에 입사한다고 가정하면 수신된 신호는 식(1)과 같은 형태로 표현할 수 있다.[3]

$$\begin{bmatrix} X_1(t) \\ X_2(t) \\ \vdots \\ X_M(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{a}(\theta_1), \dots, \bar{a}(\theta_D) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_1(t) \\ F_2(t) \\ \vdots \\ F_D(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} N_1(t) \\ N_2(t) \\ \vdots \\ N_M(t) \end{bmatrix} \quad (1)$$

좀 더 간단하게 표현하면 식(2)와 같다.

$$\bar{X} = A\bar{F} + \bar{N} \quad (2)$$

여기서 \bar{X} 는 센서에 수신된 신호이고, \bar{F} 는 입사 신호, \bar{N} 은 노이즈, 그리고 A 는 입사방향에 관계된 행렬로써 $M \times 1$ 크기의 열벡터 $\bar{a}(\theta_i)$ 는 i 번째 신호의 방향벡터를 나타낸다.

신호의 입사각 추정을 위하여 선형배열 센서의 방향을 조금씩 회전시켜 가면서 전체 수신 신호의 크기를 관찰하여 수신 신호의 응답이 큰 방향을 신호의 입사각이라고 생각 할 수 있다. 빔형성기를 이용한 입사각 추정방식은 이와 유사한 방식으로, 선형배열 센서를 물리적으로 회전시키는 대신 수신신호에 적절한 위상지연을 줌으로써 동일한 효과를 낸다. 수식적으로는 식(3)과 같이 수신신호에 회전벡터를 곱한 형태가 된다.