

압축센싱 기반의 실시간 도래각 추적을 위한 기저행렬 설계

서영광*, 신종우*, 서원기**, 김형남***

*부산대학교 전자전기컴퓨터공학과, **㈜넥스윌, ***부산대학교 전자공학과

*iloverey@pusan.ac.kr, *sjjoly@pusan.ac.kr, **nestwill@nextwill.com, ***hankim@pusan.ac.kr

초록: 본 논문은 압축센싱 기반의 도래각 추적 시스템에서 필요한 기저 행렬의 효과적인 설계 방법을 제시한다. 도래각 추정에서 높은 도래각 분해능을 얻기 위해서는 세밀한 각도 간격의 조향벡터로 기저행렬을 구성해야 하는데, 이 경우 기저행렬의 높은 차원으로 인해 도래각 추정에 사용되는 복원 알고리즘의 요구되는 연산량이 증가하는 문제점이 있다. 본 논문에서는 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 이전 도래각 추적 단계에 추정된 도래각 부근의 각도 영역에서만 세밀한 각도 간격의 조향벡터로 축소된 차원의 기저 행렬을 설계함으로써 도래각 추정에 요구되는 연산량을 줄이는 방법을 제시한다. 모의 전산실험을 통해 본 논문에서 설계한 기저행렬을 이용할 때, 계산 시간이 감소함을 보인다.

주제어: DOA tracking, compressive sensing, orthogonal matching pursuit

I. 서론

도래각 추적은 레이더, 소나, 그리고 통신 등과 같은 다양한 응용분야에서 활발히 연구되고 있는 기법으로 지난 수십 년 동안 capon과 같은 빔형성 기반 기법 그리고 MUSIC(multiple signal classification)과 같은 부공간 기반 기법등과 같은 다양한 기법 도래각 추정 기법들이 제안되었다 [1~2]. 이러한 기법들은 높은 도래각 분해능을 가지고 있지만, 통계적으로 정상상태의 신호, 충분한 양의 스냅샷 데이터, 상관관계가 없는 신호, 그리고 높은 신호 대 잡음 비와 같은 조건을 만족하여야 우수한 도래각 추정 성능을 보장받을 수 있다.

최근에 제안된 압축센싱은 적은 양의 데이터로 원하는 파라미터를 추정할 수 있는 장점으로 인해 다양한 응용분야에서 활발히 연구되고 있는 기법으로서 도래각 추정에 적용하였을 때 다양한 환경에서도 높은 도래각 분해능을 가진다[3]. 하지만 압축센싱 기반 도래각 추정 기법에서는 뛰어난 도래각 분해능을 얻기 위해 설계된 기존의 높은 차원의 기저행렬은 도래각 추정에 사용되는 복원 알고리즘의 연산량을 증가시키는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 기저행렬을 구성하는 조향벡터를 이전 도래각 추적 단계에서 추정된 도래각 부근의 각도 영역에서만 세밀한 각도 간격으로 배치하는 설계 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 압축센싱 기반의 도래각 추정을 소개하고 III장에서는 제안하는 기저행렬 설계방법을 설명한다. 그리고 IV장에서 모

의실험을 통해 기존의 기저행렬과 제안된 기저행렬을 적용하였을 때의 연산량을 비교 분석한다. 마지막 V장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 압축센싱 기반의 도래각 추정

압축센싱은 일부 원소만이 0이 아닌 값을 가지는 $1 \times N$ 벡터 \mathbf{x} 를 낮은 차원($m < M$)의 $1 \times m$ 벡터 \mathbf{y} 로 압축하는 문제와 \mathbf{y} 로부터 \mathbf{x} 를 복원하는 문제를 다루며, 이러한 벡터 \mathbf{x} 와 \mathbf{y} 의 관계는 식 (1)과 같은 불충분 선형 방정식으로 나타난다[3].

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

여기서 Φ 는 압축행렬로 Bernouli 행렬과 Gaussian 행렬과 등의 $m \times M$ 랜덤행렬이 사용되며, Ψ 는 $M \times N$ 기저 행렬로 압축센싱을 적용하는 시스템을 표현한다. 압축센싱의 \mathbf{x} 로부터 \mathbf{y} 를 얻는 압축은 임의의 데이터 $\Psi \mathbf{x}$ 에 압축행렬 Φ 를 곱하는 것으로 간단하게 수행되며 \mathbf{y} 로부터 \mathbf{x} 를 구하는 복원은 L_1 norm 최소화에 기반을 둔 알고리즘과 \mathbf{y} 와 $\Phi \Psi$ 의 내적에 기반을 둔 greedy 알고리즘 등으로 수행된다.

이와 같은 압축센싱은 선형 배열 안테나를 사용하는 공간 영역의 도래각 추정에 적용할 수 있다. 선형 배열 안테나에 s 개의 기저대역 신호가 입사할 경우 수신 신호 \mathbf{r} 은 식 (2)와 같이 나타낼 수 있으며, 이 수신 신호는 식 (3)과 같이 $-90 \sim 90$ 도 사이의 조향벡터 \mathbf{a}_i 로 구성된 기저행렬 Ψ 와 s 개의 원소만 0이 아닌 값을 가지는 벡터 \mathbf{x} 의 곱으로 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{r} = \sum_{i \in S} x_i \mathbf{a}_i, \quad \begin{cases} S \subset [1, 2, \dots, N], |S|_0 = s \\ \theta_i = \frac{90}{N} i - 90 \\ \mathbf{a}_i = \exp(-jkd \sin(\theta_i)) \\ x_i \text{ is } i \text{th element of } \mathbf{x} \end{cases} \quad (2)$$

$$\mathbf{r} = \Psi \mathbf{x}, \quad \Psi = [\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \dots, \mathbf{a}_N] \quad (3)$$

여기서 k 는 파수(wave number)이며 d 는 안테나 사이의 간격이다. 수신신호 \mathbf{r} 에 식 (4)와 같이 압축행렬 적용하면 축소된 차원의 수신신호 \mathbf{y} 를 얻을 수 있으며 이는 작은 수의 안테나를 사용하는 것과 같고 복원과정에서 요구되는 연산량을 줄인다.

$$\mathbf{y} = \Phi \mathbf{r} = \Phi \Psi \mathbf{x} \quad (4)$$

압축센싱 기반의 도래각 추정은 복원알고리즘을 통해

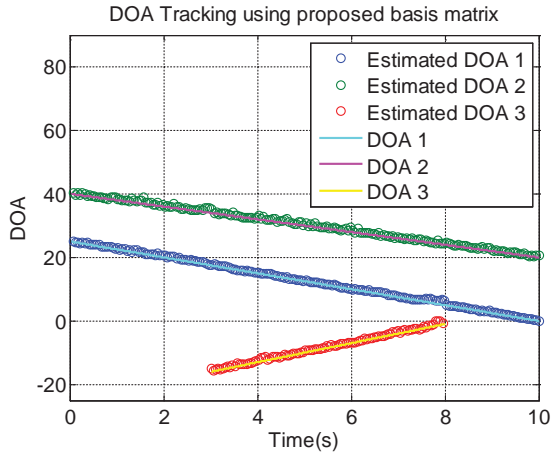


그림 1. 제안된 기저행렬을 적용하였을 때 추적된 도래각.

y 로부터 x 를 찾고 x 의 0이 아닌 원소의 위치로부터 이에 대응하는 도래각을 얻는다.

III. 축소된 차원의 기저행렬 설계

압축센싱 기반의 도래각 추정에서 도래각 분해능은 기저행렬 Ψ 를 구성하는 조향벡터 \mathbf{a}_i 의 각도 간격에 달려있다. 세밀한 각도 간격의 \mathbf{a}_i 로 Ψ 를 구성할 경우 높은 도래각 분해능을 얻을 수 있지만, Ψ 의 차원 N 이 커져 복원과정의 연산량이 증가하는 문제점이 있다. 도래각 추적의 경우, 높은 분해능을 얻기 위해 Ψ 의 차원 N 을 증가시키면 요구되는 연산량이 많아서 실시간 구현이 어려운 문제점이 생긴다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 Ψ 를 구성하는 \mathbf{a}_i 의 각도 간격을 식 (5)와 같이 이전 과정에서 추정된 도래각 부근에서는 세밀한 각도 간격으로 \mathbf{a}_i 를 배치하고 이외의 각도 영역에서는 넓은 각도 간격으로 배치한다.

$$\theta_i - \theta_{i-1} = \begin{cases} \theta_{Small} & \text{for } \theta_{pre} - \frac{\theta_w}{2} \leq \theta_i \leq \theta_{pre} + \frac{\theta_w}{2}, \\ \theta_{Large} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

여기서 각도 간격 $\theta_{Small} < \theta_{Large}$ 이며 θ_{pre} 는 이전에 추정된 도래각, θ_w 는 세밀한 각도 간격으로 볼 각도 영역이다. 이렇게 구성된 Ψ 은 이전 도래각 추적 단계에서 추정된 도래각 영역 부근에서 높은 도래각 분해능을 얻을 수 있으며 Ψ 의 차원 N 이 축소되어 복원과정에서 연산량을 줄일 수 있다.

IV. 모의 실험

기존의 기저행렬 Ψ_C 대신 제안된 기저행렬 Ψ_P 를 사용한 경우, 복원과정에서 요구되는 연산량이 감소하는 것을 확인하기 위해 SNR이 10dB인 잡음환경에서 16개의 안테나로 구성된 선형 배열 안테나를 이용하여 입사하는 신호의 시변하는 도래각을 추적하는 모의전산 실험을 수행하였다. $0.001^\circ \sim 1^\circ$ 각도 간격의 조향벡터를 사용하여 Ψ_C 와 Ψ_P 를 설계하고 OMP(orthogonal matching pursuit) 복원 알고리즘을 사용하여 도래각을

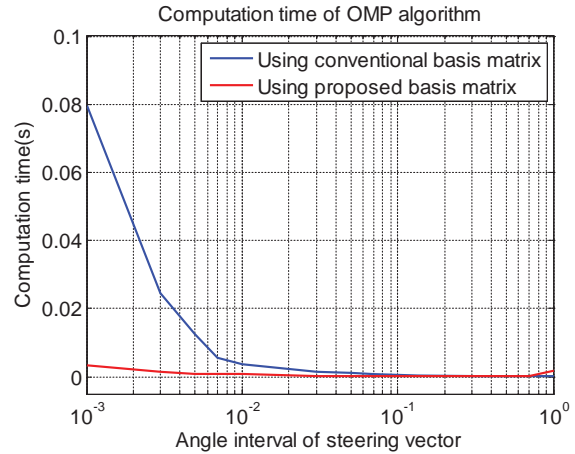


그림 2. 기저행렬 설계 방법에 따른 OMP 알고리즘의 계산 시간 비교.

추적하였다. 그림 1은 시변하는 3개의 신호원에 대한 도래각과 추적된 도래각을 나타내며 그림 2는 도래각 추정에 사용된 OMP 알고리즘의 계산 시간을 조향벡터의 각도 간격에 대하여 나타내었다. 제안된 방법으로 설계한 기저행렬 Ψ_P 를 사용할 때 조향벡터의 각도 간격이 줄어들수록 복원 과정에서 요구되는 계산 시간이 매우 감소하는 것을 확인할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서 압축센싱 기반의 도래각 추적 시스템의 실시간 구현을 위해 축소된 차원의 기저행렬 설계 방법을 제시하였다. 높은 도래각 분해능을 가지며 축소된 차원의 기저행렬 설계하기 위해 이전 도래각 추적 단계에서 추정된 도래각 부근의 각도에서만 조향벡터의 각도 간격을 세밀하게 하고 이외의 각도 영역에 대해서는 조향벡터의 각도 간격을 넓게 설정하고 제안된 기저행렬을 적용한 경우가 복원 알고리즘의 연산량을 감소하는 것을 모의전산실험을 통해 확인하였다. 따라서 본 논문에서 제안하는 기저행렬 설계방법은 압축센싱 기반의 실시간 도래각 추적이 필요한 응용분야에 유용하게 사용될 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 산하 (재)충청광역경제권 선도산업지원단의 광역경제권 선도산업 육성사업에 의해 수행 되었습니다.

참고문헌

- [1] J. Capon, "High-Resolution Frequency Wavenumber Spectrum Analysis," *Proc. IEEE Trans. ASSP*, ASSP-38, no. 3, pp. 1110-1125, July, 1990.
- [2] Ralph O. Schmidt, "Multiple Emitter Location and Signal Parameter Estimation," *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 34, no. 8, pp. 276-280, Mar. 1986.
- [3] D. Donoho, "Compressed sensing," *IEEE Trans. Information Theory*, vol. 54(2), no. 4, pp. 1289-1306, April. 2006.