

공간 엘리어싱을 이용한 효율적인 Maximum Likelihood 도래각 추정 기법

*신종우, *이영준, *강인웅, **서원기, *김형남

*부산대학교 전자공학과, (주)넥스윌

e-mail : *sjjoly@pusan.ac.kr, *yjlee83@pusan.ac.kr, *helaman88@pusan.ac.kr,

**nextwill@nextwill.com, *hnmkim@pusan.ac.kr

An Efficient Maximum Likelihood Direction-of-Arrival Estimation Method Using Spatial Aliasing

*Jong-Woo Shin, *Young-Jun Lee, *In-Woong Kang, **Won-Gi Seo,

*Hyoung-Nam Kim

*Department of Electronics Engineering Pusan National University,

**Nextwill Co., Ltd

Abstract

Using spatial aliasing generated by a scaled array aperture, we propose an efficient maximum likelihood direction-of-arrival estimation method. The proposed method effectively reduces the search range necessary for the likelihood test. Computer simulation shows that the proposed method dramatically reduces the computational complexity while achieving the performance enhancement in estimation accuracy.

I. 서론

최대 우도 (maximum likelihood, ML) 도래각 추정 기법은 우도함수를 생성하여 이를 최대가 되게 하는 도래각을 입사 방향으로 결정하는 기법으로서, 안테나 배열을 이용한 도래각 추정 기법들 중에서 가장 우수한 추정 성능을 가진다 [1]. 하지만, 추정하고자 하는 신호원의 개수가 늘어나거나 2차원 도래각을 추정하는 경우와 같이 변수의 개수가 증가하는 경우에는 다차원 탐색을 수행해야 하므로 연산량이 급격히 증가하는 단

점이 있다. 따라서, 최대 우도 도래각 추정기법은 실제 이용보다는 주로 다른 도래각 추정 기법들의 성능을 비교하는 기준으로 사용되어 왔다 [1]. 이러한 단점을 극복하기 위하여 다양한 알고리즘적인 접근 방법들이 제안되어 왔으나 이러한 방법들 역시 구현 측면에서 과도한 연산량이 요구된다 [2].

이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 구조적인 접근방법을 시도한다. Scaled aperture를 이용하여 공간 엘리어싱을 발생시켜 탐색 범위를 감소시킴으로써, 연산량을 획기적으로 감소시키는 방법을 제안한다.

II. 효율적인 ML 도래각 추정 기법

2.1 최대 우도 도래각 (ML) 추정 기법

등간격 선형 배열 안테나에 D 개의 협대역 신호 $\{s_1(t), s_2(t), \dots, s_D(t)\}$ 가 각각 $\{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_D\}$ 로부터 수신될 때, 수신신호는 다음 식과 같이 표현할 수 있다.

$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{A}(\Theta)\mathbf{s}(t) + \mathbf{n}(t), \quad (1)$$

$$\mathbf{A}(\Theta) = [\mathbf{a}(\theta_1) \ \mathbf{a}(\theta_2) \ \dots \ \mathbf{a}(\theta_D)] \quad (2)$$

여기서, $\mathbf{n}(t)$ 는 잡음 벡터를 나타낸다. 최대 우도 도래

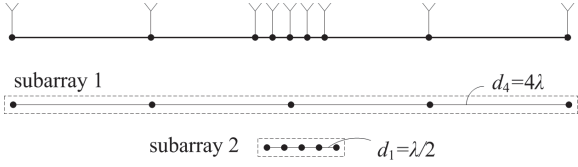


그림 1. 제안하는 안테나 배열 구조.

각 추정 기법에서 우도함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$L(\Theta) = \sum_{i=1}^M |\mathbf{P}_{A(\Theta)} \mathbf{x}(t_i)|^2 = \text{tr}[\mathbf{P}_{A(\Theta)} \mathbf{R}_{xx}] \quad (3)$$

$$\mathbf{P}_{A(\Theta)} = \mathbf{A}(\Theta) (\mathbf{A}^H(\Theta) \mathbf{A}(\Theta))^{-1} \mathbf{A}^H(\Theta) \quad (4)$$

최대 우도 도래각 추정 기법은 식 (3)의 우도 함수를 최대화 하는 도래각 집합을 신호원들의 도래각으로 추정한다.

2.2 공간 엘리어싱을 이용한 ML 도래각 추정

그림 1은 최대 우도 도래각 추정 기법에서 연산량을 감소시키기 위해 제안하는 안테나 배열 구조를 나타내며 공간 엘리어싱이 발생하는 부배열 안테나 1과 공간 엘리어싱이 발생하지 않는 부배열 안테나 2로 구성된다. 부배열 안테나1은 안테나 간의 간격이 4λ 이므로 공간 엘리어싱으로 인해 하나의 신호원에 대해 8개의 도래각 추정 결과를 얻을 수 있다. 또한, 이 8개의 도래각은 $|\sin\theta| \leq 1$ 을 만족시키는 k 에 대해 다음과 같은 관계를 가진다.

$$\theta_b = \sin^{-1}(\sin \theta_a - 2^{(-2)} k) \quad (5)$$

이러한 관계를 이용하여 부배열 안테나1에서는 $-\sin^{-1}(2^{-3})$ 에서 $\sin^{-1}(2^{-3})$ 의 범위에 대해서만 도래각을 탐색하여도 임의의 방향에서 입사하는 신호에 대해서 하나의 도래각 추정 결과를 얻을 수 있다. 부배열 안테나1에서 얻어진 도래각 추정결과는 식 (5)에 의해 8개의 도래각 후보들을 형성하며 공간 엘리어싱이 발생하지 않는 부배열안테나2에서는 8개의 도래각 후보들 중에서 실제 신호원의 도래각을 추정하는 역할을 한다.

III. 모의 전산실험 결과

제안된 기법의 성능을 검증하기 2개의 신호원이 10도,

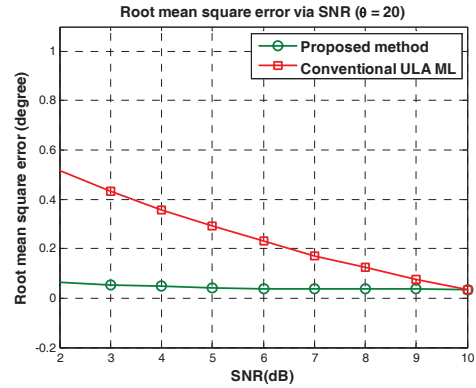


그림 2. 등간격 선형 배열 안테나 ML과 제안된 기법의 RMSE 비교 ($\theta=10$ 도).

20도에서 입사한다고 가정하여 기존의 등간격 선형 배열 안테나를 사용하는 ML 도래각 추정 기법과 제안된 기법의 도래각 추정 정확도를 비교하였다. 제안된 기법의 유효 개구 크기가 등간격 선형 배열 안테나에 비해 크기 때문에 그림 2에서 확인할 수 있는 바와 같이 제안된 기법의 도래각 추정 성능이 우수한 것을 확인할 수 있다. 제안된 기법과 기존 ML 기법에서 생성해야 하는 우도 함수의 개수는 각각 다음 식과 같다.

$$\# \text{ of DOAs}_{ULAML} = C\left(\frac{180}{\Delta\theta}, D\right) \quad (6)$$

$$\# \text{ of DOAs}_{proposed} = C\left(\frac{2\sin^{-1}(2^{-3})}{\Delta\theta}, D\right) + C(8D, D) \quad (7)$$

여기서 $C(n,k)$ 는 조합을 나타내고 $\Delta\theta$ 는 탐색하는 도래각의 단위간격이며, $D=2$, $\Delta\theta=1$ 일 때 제안된 기법은 기존 기법에 비해 약 1.3%만의 우도함수 연산을 요구한다.

IV. 결론

본 논문에서는 공간 엘리어싱을 이용한 효율적인 최대 우도 도래각 추정기법을 제안하였다. 제안된 기법은 기존의 선형 배열 안테나 기반의 도래각 추정 기법에 비해 매우 적은 연산량을 가지며 유효 개구의 크기가 크기 때문에 더욱 적은 연산량을 가지는 것을 확인할 수 있었다.

감사의 글

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

수행 되었습니다.

참고문헌

- [1] 김승일, 정양석, Array signal processing theory and application, 토파민, 2007.
- [2] Y.-H.Choi, Maximum likelihood estimation for angles of arrival of coherent signals using coherency profile, *IEEE Trans. on signal processing.* vol. 48, no. 9, pp.2479-2482, Sep., 2000.