

공간 스펙트럼 특성을 이용한 코히런트 신호의 도래각 분해능 향상

Improvement of DOA Resolution Capability for Coherent Sources Using a Characteristic of Spatial Spectrums

박 광 문 · 이 형 구 · 홍 성 용

Gwang-Moon Park · Hyeung-Gu Lee · Sung-Yong Hong

요 약

도래각 추정 알고리즘의 분해능은 배열 안테나 개구면의 크기에 비례한다. 따라서 인접한 코히런트 신호를 개구면이 작은 배열 안테나를 이용하여 분해하는 것은 한계가 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해 본 논문에서는 가상 확장 배열 안테나에 대한 공간 스펙트럼들의 특성을 이용하여 분해능을 향상시키는 방안을 제시하였다. SNR이 -10 dB에서 0 dB를 갖는 코히런트 신호가 원형 배열 안테나에 입사할 경우를 시뮬레이션한 결과, 표준 DML 알고리즘은 입사 신호를 전혀 분해할 수 없었으나, 제안한 DML 알고리즘은 100 % 분해 가능함을 확인하였다.

Abstract

The Direction-Of-Arrival(DOA) resolution of signals depends on the aperture size of the array. Therefore it is not easy to resolve closely spaced coherent signals impinge on an array with a small radius. In order to overcome the problem, a new method is proposed to use the characteristic of spatial spectrums for arrays which have different aperture sizes after virtually expanding the spacing of original antenna array. In case of coherent signals impinge on an uniform circular array, the perfect DOA resolution capability of 100 % is achieved at the SNR range of -10 dB to 0 dB by the Deterministic Maximum Likelihood(DML) algorithm including the proposed method. On the other hand, the standard DML algorithm can not resolve signals at all at the same SNR.

Key words : DOA, Spatial Spectrum, Virtual Array

I. 서 론

도래각 추정 알고리즘의 성능을 평가하는 척도는 단일 신호에 대한 바이어스(bias), 표준 편차(RMS 오차), 수신 감도와 다중 신호에 대한 분해능이 있다. 바이어스는 신호의 실제 도래각과 추정값의 차이를 의미하며, 표준 편차는 도래각 추정값이 평균값으로부터 분포되어 있는 정도를 나타낸다. 바이어스는 방향 탐지 시스템 제작시 옵셋을 조정하여 보정이

가능하다. 일반적으로 시스템 제작사들은 방탐 정확도를 표준 편차인 RMS 오차로 나타낸다. 수신 감도는 규정한 방탐 정확도 내에 들어오는 가장 낮은 입사 신호 레벨을 나타내며, 도래각 추정의 분해능은 입사하는 여러 개의 신호들을 분해할 수 있는 알고리즘의 능력을 의미한다.

배열 안테나에 입사하는 신호는 주파수가 서로 다른 인코히런트(incoherent) 신호와 주파수는 동일하나 크기가 다르고 시간 지연 특성을 갖는 코히런트

충남대학교 전파공학과(Department of Radio Science and Engineering, Chungnam National University)

· 논문 번호 : 20090902-099

· 수정완료일자 : 2009년 10월 21일

트(coherent) 신호로 분류할 수 있다. 배열 안테나는 배치 구조에 따라 선형 배열 안테나와 원형 배열 안테나로 나눌 수 있다. 선형 배열 안테나를 이용하여 도래각을 추정하는 경우 분해능을 결정하는 개구면 크기가 입사하는 도래각에 따라 달라지는 단점이 있다. 따라서 실제 환경에서는 원형 배열 안테나를 주로 사용한다.

도래각 추정 알고리즘의 분해능은 배열 안테나의 개구면 크기, 안테나 수, 샘플 수, 신호 대 잡음비에 따라 결정된다^[1]. 다중 경로파가 발생하는 환경에서 반사파에 의한 영향을 최소화하고 분해능을 향상시키기 위해서는 배열 안테나의 간격을 크게 해야 한다. 그러나 배열 안테나의 설치 공간과 진동, 충격 등 환경에 대한 영향 때문에 배열 안테나의 간격을 넓히는데 한계가 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해 가상적으로 배열 안테나의 개구면 크기를 확장하여 분해능을 향상하기 위한 연구를 수행하여 왔다^[2].^[3]. 참고문헌 [2]는 인코히런트 신호가 입사할 경우에만 적용할 수 있고, 참고논문 [3]에서는 코히런트 신호에 대해서도 적용할 수 있으나 안테나의 간격을 가상적으로 확장함으로써 공간 스펙트럼에서 스푸리어스 크기가 증가하여 실제 신호를 구분할 수 없는 모호성 문제가 발생했다.

본 논문에서는 원형 배열 안테나에 코히런트 신호가 들어올 경우, 서로 다른 확장 배율을 갖는 가상 확장 배열들에 대한 공간 스펙트럼들의 특성을 이용하여 분해능을 향상시키는 방안을 제시하였다. 코히런트 신호가 원형 배열 안테나에 입사하는 경우, 제안한 방안을 적용한 DML 알고리즘이 표준 DML 알고리즘보다 매우 우수한 분해능을 제공함을 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

II. 데이터 모델링과 도래각 추정

임의의 위치에 있는 m 개의 안테나로 구성된 등 간격 원형 배열 안테나에 중심 주파수 ω_0 를 가진 d 개의 협대역 신호가 도래각 $\theta_1, \dots, \theta_d$ 로 입사한다고 가정하면 그림 1과 같이 나타낼 수 있다.

그림 1에서 수신 신호 벡터 $\mathbf{x}(t)$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

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

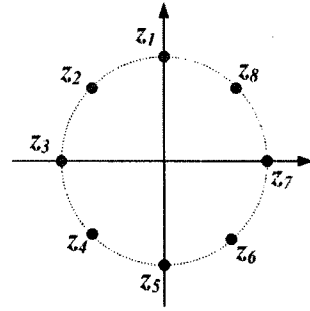


그림 1. 등 간격 원형 배열 안테나 구성도
Fig. 1. Configuration for the uniform circular array antenna.

식 (1)의 각 성분은 아래와 같다.

$$\mathbf{x}(t) = [x_1(t), \dots, x_m(t)]^T \in \mathbb{C}^m$$

; 수신 신호 벡터 (2)

$$\mathbf{A}(\theta) = [a(\theta_1), \dots, a(\theta_d)]^T \in \mathbb{C}^{m \times d}$$

; 스티어링 행렬 (3)

$$a(\theta_i) = [a_1(\theta_i)e^{-j\omega_0\tau_1(\theta_i)}, \dots, a_m(\theta_i)e^{-j\omega_0\tau_m(\theta_i)}]^T \in \mathbb{C}^m$$

; 스티어링 벡터 (4)

$$\mathbf{s}(t) = [s_1(t), \dots, s_d(t)]^T \in \mathbb{C}^d$$

; 신호 벡터 (5)

$$\mathbf{n}(t) = [n_1(t), \dots, n_m(t)]^T \in \mathbb{C}^m$$

; 잡음 벡터 (6)

여기에서 $x_i(t)$ 는 i 번째 안테나로부터 수신한 신호, $a_j(\theta_i)$ 는 θ_i 로 도래하는 신호에 대한 j 번째 안테나의 진폭 응답, $\tau_j(\theta_i)$ 는 θ_i 로 도래하는 신호에 대한 기준 안테나와 j 번째 안테나간 전파 지연, $s_i(t)$ 는 i 번째 송신 신호, 그리고 $n_i(t)$ 는 i 번째 안테나의 잡음이다.

데이터 모델에서 수신 신호는 미지의 결정된 값으로, 잡음은 독립적 잡음원으로 가정한다. 즉, 수신 신호 벡터 $\mathbf{x}(t_i)$ 는 평균값이 $\mathbf{A}(\theta) \mathbf{s}(t_i)$ 이고, 공분산이 $\sigma^2 \mathbf{I}$ 인 에르год트 가우시안 랜덤 과정이다.

$$\mathbf{E}\{\mathbf{x}(t_i)\} = \mathbf{A}(\theta) \mathbf{s}(t_i) \quad (7)$$

$$\mathbf{E}\{(\mathbf{x}(t_i) - \mathbf{E}\{\mathbf{x}(t_i)\})(\mathbf{x}(t_j) - \mathbf{E}\{\mathbf{x}(t_j)\})^H\} = \sigma^2 \mathbf{I} \delta_{ij} \quad (8)$$

$$E\{(\mathbf{x}(t_i) - E\{\mathbf{x}(t_i)\})(\mathbf{x}(t_j) - E\{\mathbf{x}(t_j)\})^T\} = 0 \quad (9)$$

여기에서 T 는 전치행렬 연산자, t_i, t_j 는 샘플 수집 시간, $E\{\cdot\}$ 는 통계적 기대값, H 는 hermitian이다. 통계적 가정으로부터 Likelihood 함수는 미지의 파라미터들로 주어진 모든 측정값의 확률 밀도 함수이다. 단일 측정 벡터 $\mathbf{x}(t)$ 는 가우시안 확률 밀도 함수이며, 각 측정값은 독립적이므로 likelihood 함수를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$p[\mathbf{X}_n | \theta, \sigma^2, \mathbf{S}_n] = \prod_{i=1}^n \frac{1}{|\pi\sigma^2 \mathbf{I}|} \cdot e^{-\sigma^{-2} [\mathbf{x}(t_i) - A(\theta) \mathbf{s}(t_i)]^H [\mathbf{x}(t_i) - A(\theta) \mathbf{s}(t_i)]} \quad (10)$$

여기에서 $\mathbf{X}_n = [\mathbf{x}(t_1), \dots, \mathbf{x}(t_n)]$, $\mathbf{S}_n = [s(t_1), \dots, s(t_n)]$ 이다. 미지의 파라미터들에 대한 ML 추정은 $1/p[\mathbf{X}_n | \theta, \sigma^2, \mathbf{S}_n]$ 를 최소화하는 변수로 계산할 수 있다.

$$[\hat{\theta}, \hat{\sigma}^2, \hat{\mathbf{S}}_n] = \arg \min_{\theta, \sigma^2, \mathbf{S}_n} \{-\log[p(\theta, \sigma^2, \mathbf{S}_n)]\} \quad (11)$$

여기에서 $\hat{\theta}, \hat{\sigma}^2, \hat{\mathbf{S}}_n$ 는 각각 $\theta, \sigma^2, \mathbf{S}_n$ 의 추정값이다. 이때 θ 와 \mathbf{S}_n 를 고정하고 σ^2 에 대해 최소화하면 다음 식과 같이 쓸 수 있다.

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{m} \text{Tr}\{P_{A(\theta)}^\perp \hat{\mathbf{R}}_x\} \quad (12)$$

이때 $\text{Tr}\{\cdot\}$ 는 행렬의 트레이스, $P_{A(\theta)}^\perp$ 는 $A^H(\theta)$ 의 영공간으로 직교 투영이고 $\hat{\mathbf{R}}_x$ 는 샘플 공분산 행렬이다.

$$\hat{\mathbf{R}}_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mathbf{x}(t_i) \mathbf{x}^H(t_i) \quad (13)$$

이 결과를 식 (11)에 대입하면 아래와 같다.

$$[\hat{\theta}, \hat{\mathbf{S}}_n] = \arg \min_{\theta, \mathbf{S}_n} \|\mathbf{X}_n - A(\theta) \mathbf{S}_n\|_F^2 \quad (14)$$

여기에서 $\|\cdot\|_F$ 는 Frobenius norm이다. 이때 θ 를 고정하고 \mathbf{S}_n 에 대해 최소화하면 아래와 같다.

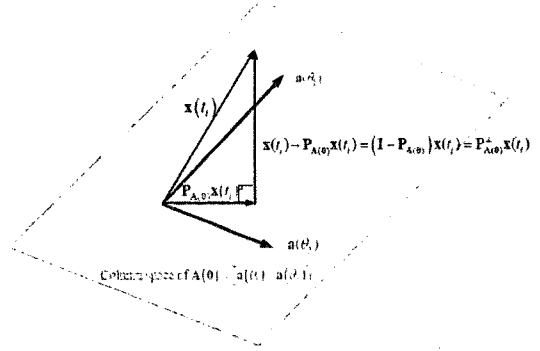


그림 2. DML에서 도래각 추정 개념도
Fig. 2. Conceptual diagram for estimating the Direction-Of-Arrival(DOA) in a DML.

$$\hat{\mathbf{S}}_n = A^\dagger(\theta) \mathbf{X}_n \quad (15)$$

이때 $A^\dagger(\theta)$ 는 $A(\theta)$ 의 의사 역행렬이다.

$$A^\dagger = (A^H A)^{-1} A^H \quad (16)$$

$$P_A = A A^\dagger \quad (17)$$

$$P_A^\perp = I - P_A \quad (18)$$

여기에서 $P_{A(\theta)}$ 는 $A(\theta)$ 의 열공간으로 투영이다. 이 결과를 식 (14)에 대입하면 다음과 같다.

$$\hat{\theta} = \arg \min_{\theta} \text{Tr}\{P_{A(\theta)}^\perp \hat{\mathbf{R}}_x\} \quad (19)$$

식 (19)의 $\text{Tr}\{P_{A(\theta)}^\perp \hat{\mathbf{R}}_x\} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \|P_{A(\theta)}^\perp \mathbf{x}(t_i)\|_F^2$ 이므로 입사하는 신호가 2개인 경우 그림 2와 같이 도래각은 수신 신호 벡터 $\mathbf{x}(t)$ 을 $A(\theta)$ 의 열공간인 신호 공간 $[a(\theta_1) \text{과 } a(\theta_2)]$ 벡터들로 구성된 평면에 직교투영한 성분인 $P_{A(\theta)}^\perp \mathbf{x}(t_i)$ 가 가장 작은 전력 혹은 신호 공간에 투영한 성분인 $P_{A(\theta)} \mathbf{x}(t_i)$ 가 가장 큰 전력을 갖는 각도로 추정할 수 있다. 즉, 신호 전력이 가장 큰 수신 신호의 각도로 추정한다.

III. 가상 확장과 공간 스펙트럼의 특성을 이용한 도래각 추정

수신 신호 벡터 $\mathbf{x}(t)$ 에 대한 공분산 행렬을 식 (20)과 같이 표현할 수 있다.

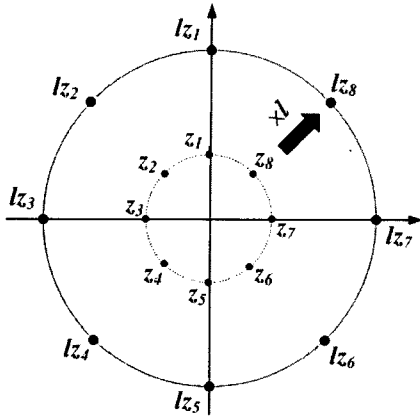


그림 3. 가상 확장 배열 구성도
Fig. 3. Configuration for a virtual expansion of the array.

$$R_x = E\{x(t_i)x^H(t_i)\} = A(\theta)R_sA^H(\theta) + \sigma^2I \quad (20)$$

이때 R_s 는 신호 공분산 행렬, σ^2I 는 잡음 공분산 행렬이다. 그림 3에 1배 확장한 가상 배열 안테나의 구성도를 나타내었다.

그림 3의 가상 배열 안테나에 대한 스티어링 행렬 $B(\theta, \Delta)$ 을 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$B(\theta, \Delta) = T(\theta, \Delta)A(\theta) \quad (21)$$

이때 변환 행렬 $T(\theta, \Delta)$ 는 식 (21)에서 초기 도래각과 스티어링 행렬에 대한 정보로부터 얻을 수 있다^[4]. 확장 전 배열 안테나에서 추정한 도래각을 초기 도래각으로 선택한 후, 식 (22)에서와 같이 최소자승법(least square method)을 이용하면 변환행렬을 구할 수 있다.

$$\min_{T(\theta, \Delta)} \| \widehat{B}(\theta, \Delta) - T(\theta, \Delta)\widehat{A}(\theta) \|_F \quad (22)$$

여기서 $\widehat{B}(\theta, \Delta)$ 는 가상 확장 배열 안테나의 추정 스티어링 행렬이고, $\widehat{A}(\theta)$ 는 확장전 배열 안테나의 추정 스티어링 행렬이다. 식 (20)과 (22)로부터 가상적으로 확장한 배열에 대한 공분산 행렬 R_y 는 아래와 같다.

$$R_y = T(\theta, \Delta)R_xT^H(\theta, \Delta) \quad (23)$$

가상 확장한 배열에 대한 공분산 행렬 R_y 가 이

용하면 다음 식과 같이 도래각을 추정할 수 있다.

$$\widehat{\theta} = \arg \min_{\theta} \text{Tr}\{P_{A(\theta)}^{\perp} \widehat{R}_y\} \quad (24)$$

이때 \widehat{R}_y 는 가상 확장 배열에 대한 샘플 공분산 행렬이다. 따라서 코히런트 신호에 대해서도 적절한 변환 행렬을 사용하여 배열 안테나의 간격을 가상적으로 확장하여 개구면의 크기를 크게 할 수 있다. 그러나 근본적으로 안테나 수를 증가하지 않고 배열 안테나의 간격을 가상적으로 확장함으로써 공간 스펙트럼에서 스푸리어스 크기가 증가하여 실제 신호를 구분할 수 없는 모호성 현상이 발생한다. 서로 다른 확장 배율을 갖는 가상 확장 배열에 대한 공간 스펙트럼은 실제 신호의 추정 도래각은 일정하나, 스푸리어스의 추정 도래각은 서로 다른 특성이 있다. 이러한 특성을 이용하여 서로 다른 확장 배율을 갖는 가상 확장 배열들에 대한 공간 스펙트럼을 평균하여 실제 신호의 크기는 일정하게 유지하면서 스푸리어스의 크기는 줄이는 방안을 제시하였다. 이를 식 (25)와 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{avg}(\theta) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i(\theta) \quad (25)$$

여기에서 $P_{avg}(\theta)$ 는 가상 확장 배열들에 대한 평균 공간 스펙트럼, n 은 가상 확장 배열들의 수, 그리고 $P_i(\theta)$ 는 확장 배율이 i 인 가상 확장 배열에 대한 공간 스펙트럼이다. 이러한 공간 스펙트럼의 특성을 이용한 DML 알고리즘의 도래각 추정 절차를 그림 4에 요약하였다. 표준 DML 알고리즘은 5단계인 DOA 추정 단계까지 진행하며, 단일 가상 확장 DML 알고리즘은 $n=1$ 이므로 6단계인 가상 확장을 1번 수행하고, 다중 가상 확장 DML 알고리즘은 6단계인 가상 확장을 n 번 실행한다.

IV. 시뮬레이션 결과

제안한 방법의 유효성을 입증하기 위해 도래각 추정의 분해능을 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 조건은 안테나수가 8개인 등 간격 원형 배열에 인접한 2개의 협대역 코히런트 신호들이 입사할 경우로 설정하였다. 이때 배열 안테나의 반경은 0.5λ , 신호의 크기는 동일하고 입사 도래각은 $\theta_1=280^\circ$ 와 $\theta_2=$

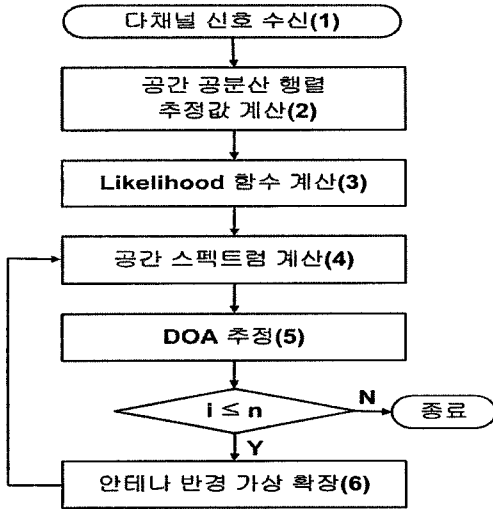


그림 4. 도래각 추정 절차
Fig. 4. Procedure of a DOA estimation.

285°이며, 잡음은 SNR 10 dB인 분산을 가지고, 백색 가우시안으로 가정하였다. 또한 정규화 중심 주파수는 0.25이고 샘플 수는 1,024개이며, 신호의 수는 알고 있다고 가정하였다. 또한 도래각 추정 알고리즘은 DML을 사용하였으며, 가상 확장용 변환 행렬을 얻기 위한 초기 추정값을 (279°, 280°, 281°, 282°, 283°, 284°, 285°, 286°)으로 설정하였다. 여기에서 초기 추정값들은 가상 확장 전 수행해야 하는 전처리 과정으로 확장 전 배열 안테나에서 추정한 도래각들의 인접 각도들을 초기 추정값으로 선택하였다.

DML 알고리즘을 이용한 도래각 추정에서 그림 5에서 그림 7까지 도시하는 3차원도는 x축과 y축은 입사하는 2개 신호들의 도래각, z축은 공간 스펙트럼을 나타낸다. 여기에서 공간 스펙트럼이 최대값을 갖는 위치가 추정하는 도래각을 의미한다. 그리고 측면도는 3차원도를 첫 번째 도래각 평면에서 바라다 본 2차원도이다. 측면도의 점선은 실제 도래각인 $\theta_1=280^\circ$ 와 $\theta_2=285^\circ$ 를 나타낸다.

그림 5는 확장 전 배열 안테나로 입사하는 2개 신호를 표준 DML 추정으로는 분해할 수 없다는 것을 보여 준다. 그림 6으로부터 단일 가상 확장 배열 안테나인 경우 DML 추정을 통해 신호들을 분해할 수는 있으나, 실제 신호와 최대 스푸리어스의 전력 차가 1 dB 미만으로 매우 작아 실제 신호를 구별하기 어렵다는 것을 알 수 있다. 그림 7로부터 다중 가상

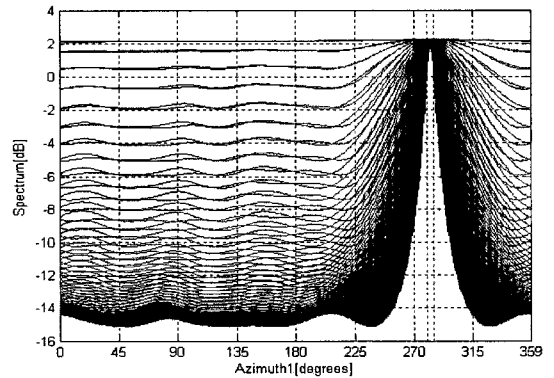
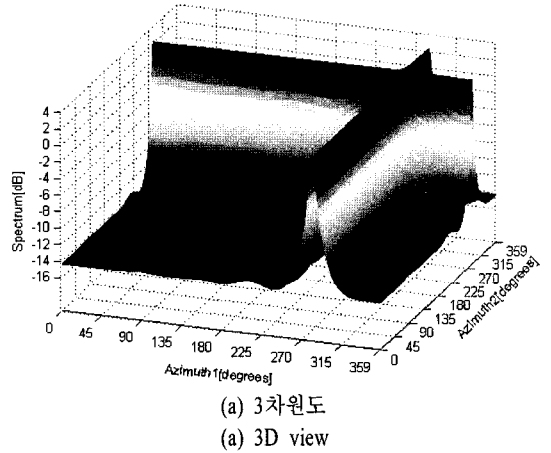


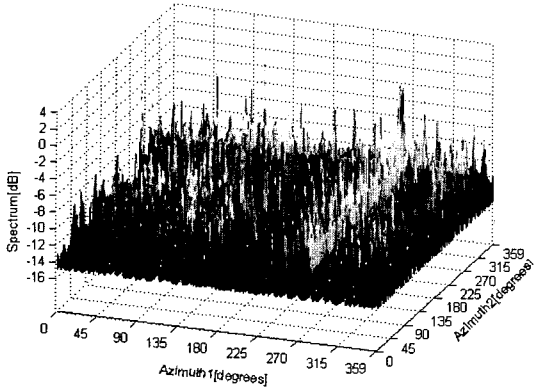
그림 5. 확장 전 배열 안테나($l=1$)로 입사하는 2개의 코히런트 신호에 대한 공간 스펙트럼
Fig. 5. Spatial spectrum for two coherent signals impinging on an original array($l=1$).

그림 5. 확장 전 배열 안테나($l=1$)로 입사하는 2개의 코히런트 신호에 대한 공간 스펙트럼

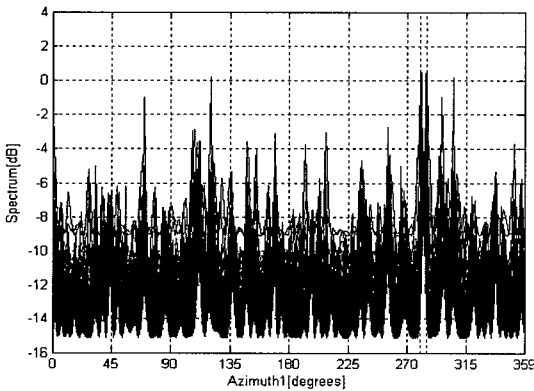
Fig. 5. Spatial spectrum for two coherent signals impinging on an original array($l=1$).

확장 배열 안테나인 경우 DML 추정을 통해 신호와 최대 스푸리어스의 전력 차를 3 dB 정도로 유지하기 때문에 쉽게 분해할 수 있음을 알 수 있다.

단일 가상 확장 방법에서 발생하는 근본적인 문제인 모호성 현상을 확인하기 위해 배열 안테나의 개구면 크기를 의미하는 확장 배율 변화에 따른 도래각 추정의 분해 성능을 분석하였다. 이때 시뮬레이션 조건은 SNR과 확장 배율 제외한 나머지 파라미터는 앞서 수행한 조건과 동일하게 하였다. 계산된 도래각이 실제 도래각 $\pm 2^\circ$ 이내로 추정할 경우에만 성공적으로 신호를 분해하는 것으로 판정하였다. 즉, $(280^\circ - 2^\circ, 280^\circ + 2^\circ)$ 과 $(285^\circ - 2^\circ, 285^\circ + 2^\circ)$ 구간을 분해 가능한 도래각 추정 범위로 정의하였다. 그리고



(a) 3차원도
(a) 3D view



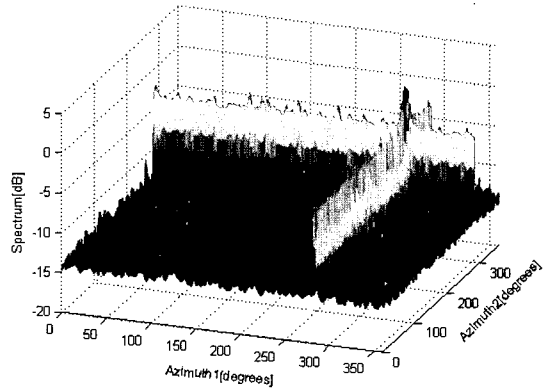
(b) 측면도(점선은 실제 도래각)
(b) Side plan view(true DOAs indicated by vertical dotted lines)

그림 6. 단일 가상 확장한 배열 안테나 ($l=12$)로 입사하는 2개의 코히런트 신호에 대한 공간 스펙트럼

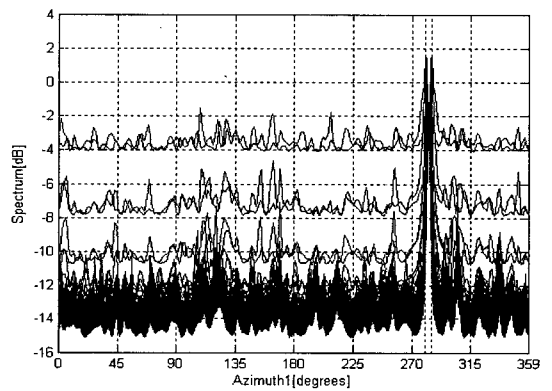
Fig. 6. Spatial spectrum for two coherent signals impinge on a single virtually expanded array ($l=12$).

각각의 분해 확률은 100번의 독립시행을 통해 추출한 결과이다. 그림 8은 확장한 배열 안테나로 입사하는 두 신호들에 대해 확장 배율의 변화에 따른 분해 확률을 나타낸다. 여기에서 $l=1$ 인 경우는 확장 전 배열 안테나 구조에서 표준 DML 알고리즘의 분해 성능이다.

그림 8에서 확장 배율이 증가하면 분해 확률도 증가하지만, 일정 한계를 초과하면 역으로 감소하는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 안테나 수는 고정하고 배열 안테나의 간격만 확장하였기 때문에 공간 스펙트럼의 스퓨리어스의 크기가 증가하여 모호성



(a) 3차원도
(a) 3D view



(b) 측면도(점선은 실제 도래각)
(b) Side plan view(true DOAs indicated by vertical dotted lines)

그림 7. 다중 가상 확장한 배열 안테나 ($l=4, 8, 12$)로 입사하는 2개의 코히런트 신호의 평균 공간 스펙트럼

Fig. 7. Averaged spatial spectrum for two coherent signals impinge on a multiple virtually expanded array ($l=4, 8, 12$).

이 증가하기 때문이다. 이러한 단점을 보완하기 위해 서로 다른 확장 배율을 갖는 가상 확장 배열들에 대한 공간 스펙트럼들을 평균하여 실제 신호의 크기는 일정하게 유지하면서 스퓨리어스의 크기를 줄이는 방법을 사용하였다.

배열 안테나로 입사하는 두 신호들에 대해 방한 별 SNR 변화에 따른 도래각 추정의 분해 성능을 시뮬레이션한 결과를 그림 9에 나타내었다. 이때 시뮬레이션 조건은 앞서 수행한 조건과 동일하다. 그림 9로부터 확장 전 배열 안테나 구조에서는 SNR 5 dB에서 1%만 신호들을 분해할 수 있으나 단일 가상

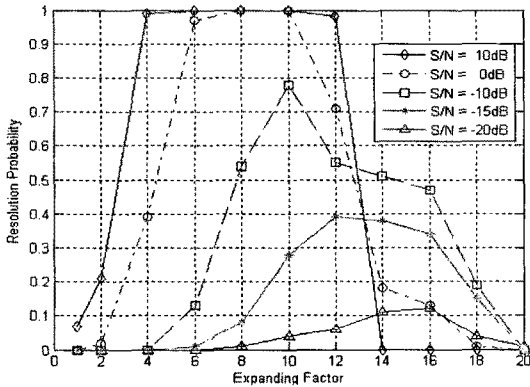


그림 8. 확장 배율에 따른 두 신호의 분해 확률
Fig. 8. Resolution probability versus expanding factor for two coherent signals impinge on expanded array.

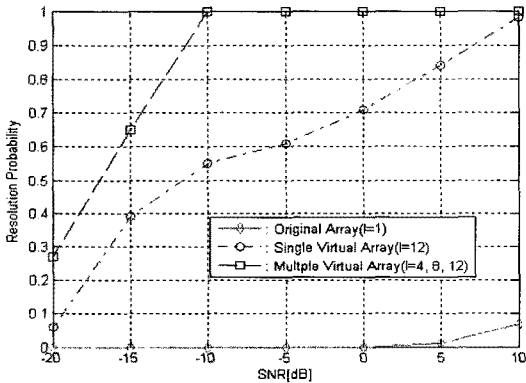


그림 9. 배열 안테나로 입사하는 두 신호의 SNR 변화에 따른 분해 확률
Fig. 9. Resolution probability versus SNR for two coherent signals impinge on an array.

확장한 배열 안테나 구조에서는 SNR -10 dB에서도 55 % 분해 가능하며, 공간 스펙트럼 특성을 이용한 다중 가상 확장한 배열 안테나 구조에서는 SNR -10 dB에서도 100 % 다중 신호들을 분해할 수 있음을 알 수 있다.

V. 결 론

가상 확장을 함으로써 발생하는 실제 신호를 구분할 수 없는 모호성 문제를 보완하기 위해 서로 다른 확장 배율을 갖는 가상 확장 배열에 대한 공간 스펙트럼

들의 특성을 이용하여 도래각 추정의 분해능을 향상시키는 방안을 제시하였다.

코히런트 신호가 원형 배열 안테나에 입사하는 경우 제안한 방안을 적용한 DML 알고리즘이 표준 DML 알고리즘보다 우수한 분해능을 제공함을 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 즉, SNR이 -10 dB에서 0 dB를 갖는 코히런트 신호가 원형 배열 안테나에 입사할 경우를 시뮬레이션한 결과, 표준 DML 알고리즘은 입사 신호를 전혀 분해할 수 없었으나 제안한 DML 알고리즘은 100 % 분해 가능함을 확인하였다. 그러나 가상 확장용 변환 행렬을 구하기 위해 단일 가상 확장한 배열 안테나 구조에서는 확장 전 배열 안테나 구조 대비 20 %, 다중(3개) 가상 확장한 배열 안테나 구조에서는 60 %의 추가 시간이 필요한 단점이 있다.

본 논문에서 제안한 알고리즘은 송신원의 위치를 찾는 레이더, 수중 음파 탐지기, 방향 탐지 시스템에 활용할 수 있다. 특히 주파수가 낮은 HF 대역이나 설치 공간의 제한으로 인해 좁은 간격을 갖는 배열 안테나 구조에서 도래각 추정의 분해능 향상에 효과적이다.

참 고 문 헌

- [1] J. A. Cadzow, Y. S. Kim, and D. C. Shiu, "General direction of arrival estimation: a signal subspace approach", *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, vol. AES-25, pp. 31-47, Jan. 1989.
- [2] Y. S. Kim, "Improved resolution capability via virtual expansion of array", *Electron. Lett.*, vol. 35, no. 19, pp. 1596-1597, Sep. 1999.
- [3] G. M. Park, S. Y. Hong, "Resolution enhancement of coherence sources impinge on a uniform circular array with array expansion", *J. of Electromagn. Waves and Appl.*, vol. 21, no. 15, pp. 2205-2214, 2007.
- [4] H. Wang, M. Kaveh, "Coherent signal-subspace processing for the detection and estimation of angles of arrival of multiple wideband sources", *IEEE Trans. Acoustics, Speech and Signal Processing*, vol. AS-SP-33, no. 4, pp. 823-831, Aug. 1985.

박 광 문



1993년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
1995년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
1995년 4월~2000년 9월: LG Innotek 연구소 주임연구원
2000년 10월~현재: 한국전자통신

연구원 선임연구원
2006년 3월~현재: 충남대학교 전파공학과 박사과정
[주 관심분야] 배열 신호 처리, 스펙트럼 추정

홍 성 용



1985년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학사)
1988년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
1994년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
1994년 2월~1996년 8월: 한국쌍신

전기연구소장
1996년 9월~현재: 충남대학교 전파공학과 교수
[주 관심분야] 초고주파회로 설계

* 교신저자

이 형 구



2008년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학사)
2008년 3월~현재: 충남대학교 전파공학과 석사과정
[주 관심분야] 초고주파 회로