

## 2차원 멀티베이스라인 방향탐지 배열 구조 설계

정회원 박철순\*, 종신회원 김대영\*\*

### The Design of Array Geometry in 2-D Multiple Baseline Direction Finding

Cheol-Sun Park\* *Regular Member*, Dae Young Kim\*\* *Lifelong Member*

#### 요 약

본 논문에서는 방위각과 고각을 동시에 탐지하는 2차원 멀티베이스라인 센서 배열 설계에서 DOA(Direction Of Arrival) 정확도를 유지하면서 센서 안테나수를 최소화하기 위해 위상차 공간에서 유클리드 최소 거리함수를 이용한 논하모닉 배열 구조 설계 메소드를 제안한다. 제안된 메소드는 기존 메소드와 달리 최소 이격 거리가 반파장 이상인 경우에도 적용 가능할뿐더러 임의 배열구조에서도 적용이 가능한 장점을 갖는다. 다중신호 입사조건에서 초분해능 알고리즘을 적용한 모의 실험을 통해 설계 접근법의 효율성을 제시하였다. 또한 제안된 메소드를 적용하여 2차원 비대칭 배열 안테나를 설계하였고, 제작된 배열 안테나를 이용한 실험 결과를 통해 그 성능을 확인하였다.

**Key Words** : Multiple baseline(multi-baseline), DOA, Interferometer, Ambiguity, NLA

#### ABSTRACT

In this paper, we present a nonharmonic array geometry design method using Euclidan minimum distance function in difference phase spaces for 2-D (azimuth/elevation) multiple baseline antenna array which has a way to reduce the number of sensor antennas while maintaining accurate DOA estimate. The major advantages of our approach is that even the shortest interelement spacing can be larger than half-wavelength and is not limited to linear and it can be applied successfully to any array configuration. In multiple signals impinging situation, the performance simulation results of superresolution algorithms shows the effectiveness of the proposed method. Also the 2-D asymmetric array using the proposed method is designed and the performance of the manufactured array through the experimental test is verified.

#### 1. 서론

센서 배열은 레이더, 소나, 스마트 안테나(무선 통신), 의료 진단 등 광범위한 범위에서 중요한 역할을 하고 있다<sup>[1-3]</sup>. 센서 배열 설계에서 중요한 파라미터 중의 하나는 배열의 크기이다. 많은 센서를 가진 큰 배열은 매우 정확한 DOA 추정이 가능하다<sup>[4]</sup>. 그러나, 많은 센서를 가진 큰 배열은 고비용 즉, 많은 채널 개수 및 높은 계산 복잡도에 대한

덧가를 지불해야 한다. 정확도를 유지하면서 비용을 낮추는 방법은 배열의 크기를 유지하면서 센서 갯수를 줄일 수 있는 방법이 필요하다.

설계된 배열에서 최소 센서간의 이격거리가 입사 신호의 반파장 이상인 경우, 회망파에 준하는 grating lobe가 발생하여 모호성(ambiguity) 문제를 유발시키게 된다.

DOA 추정에서 모호성 발생은 공간적으로 서로 다른 각도에서 입사하는 2개 이상의 조향벡터(배열

\* 국방과학연구소 기술연구본부 (csun@add.re.kr), \*\* 충남대학교 공과대학장 (dykim@cnu.ac.kr)  
논문번호 : KICS2006-05-193, 접수일자 : 2006년 5월 2일, 최종논문접수일자 : 2006년 10월 9일

응답 벡터)가 유사할 경우 발생하게 된다. 베이스라인이 반파장 이상인 경우 모호성을 완전히 제거하는 것은 불가능하다고 알려져 있다<sup>5,6)</sup>. 따라서 모호성 발생률을 최소화하면서 높은 정확도의 DOA 추정정이 가능한 배열 구조를 설계하는 것은 중요하다.

모호성 해결 방법으로는 진폭, TDOA(Time Difference Of Arrival) 또는 DD(Differential Doppler)와 같은 다른 방탐 기법을 활용한 복합형 DOA 추정기법이나, 2개 이상의 베이스라인을 이용하는 멀티베이스라인(또는 다중개구) 기법이 사용된다<sup>6-9)</sup>.

기존 연구로는 3소자로 구성된 동일한 2개 듀얼 베이스라인을 직교배열한 특별한 경우가 있다<sup>6)</sup>. 대부분의 기존 연구들은 3소자를 이용한 듀얼베이스라인과 최소 이격비를 반파장이하를 포함한 조건으로 그 연구범위를 한정시키고 있다. 최소 이격비가 반파장 이상인 경우를 포함하는 연구결과가 제안되었으나<sup>10)</sup>, 최대 공약수를 기반으로 한 유사-하모닉 방식<sup>11)</sup>으로 광대역 조건일 경우 논하모닉에 비해 센서수가 증가되게 된다.

본 논문에서는 2차원 방향탐지가 가능하고 최소 안테나 이격거리가 반파장 이상인 경우에도 적용 가능한 배열 설계 메소드의 제안에 관한 것이다. 광대역 안테나의 특성에 기인해 이격거리가 반파장 이상에서 발생하는 모호성 발생률이 최소인 조건을 찾기 위해 위상차 공간에서 유클리드 최소거리 함수를 이용하여 배열 구조를 설계한다. 제안된 설계 기법을 이용하여 2차원 배열 안테나를 제작하고, 제작된 배열 안테나를 이용한 실험 결과를 통해 성능을 검증한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 멀티 베이스라인 기본 방탐 원리를 살펴본다. III장에서는 듀얼베이스라인을 이용한 배열 설계 기법을 기술하고, 위상차 공간 거리 개념으로 배열 설계 기법을 일반화시킨다. IV장에서는 제안된 배열 설계 기법을 적용하여 배열구조를 설계하고 2개의 초분해능 알고리즘 적용하여 그 성능을 확인하고, 제작된 장비를 이용한 실험결과를 분석하여 그 타당성을 확인한다. V장의 결론으로 본 논문을 끝 맺는다.

## II. 멀티베이스라인 방향탐지

안테나 배열 설계는 시스템 설계에 중요한 요소이다. 그림 1은 안테나 3개를 이용해서 안테나 중심간 이격거리가  $d_{12}$ 와  $d_{13}$ 인 베이스라인 2개로 구성된 배열 구조로서, 보어사이트(boresight)와 입사

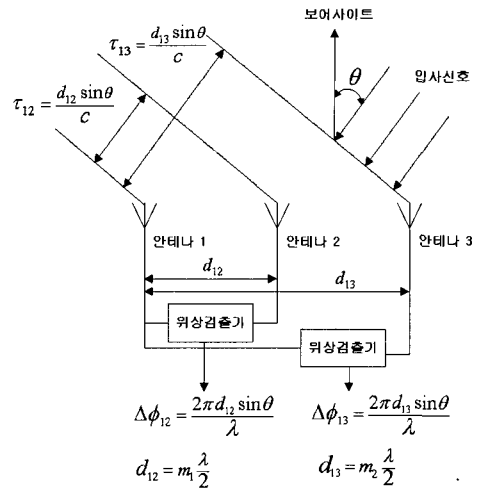


그림 1. 듀얼베이스라인 인터페로메터

신호간에 형성되는 도래각  $\theta$ 를 측정한다<sup>11)</sup>.

입사 신호가 방향탐지 장비로부터 원거리장 조건에 존재한다면 평면 파두면을 형성한다. 따라서, 그림 1과 같이 입사신호는 안테나 3, 2, 1 순서로 각각 도착한다. 안테나 1을 기준으로 이들 시간지연  $\tau_{12}$ 와  $\tau_{13}$ 은 위상검출기에 의해 전기적인 위상차  $\phi_{ij} = 2\pi f\tau_{ij}$ 로 측정되고, 식 (1)과 같이 비선형 프로세스인 modulo 연산에 의해 위상 값을 갖게 된다.

$$\phi_{ij} = \frac{2\pi d_{ij}}{\lambda} \sin\theta - 2\pi k_j \quad (1)$$

여기에서,  $|\phi| \leq \pi$ ,  $|\theta| \leq \frac{\pi}{2}$ 이고,

$$k \in \{0, \pm 1, \pm 2, \dots\} \text{ 임.}$$

$k$ 는 정수의 집합이고,  $\lambda$ 는 입사신호 파장이다. 식 (1)에서 안테나간 이격거리가 반파장보다 크게 되면, 입사각  $\theta$ 가 다름에도  $\phi_{ij}$ 값이 동치인 것이 여러 개 발생함을 알 수 있는데 이러한 경우를 모호성이 존재한다고 한다. 따라서 최소 안테나 이격거리인  $d_{ij} > \lambda/2$ 인 조건이라면  $\phi_{ij}$ 와  $k$ 간의 모호성을 제거하기 위한 추가적인 기법이 필요하게 된다.

## III. 2차원 배열구조 설계 접근법

배열 구조 설계는 탐지각(FOV : Field Of View), 탐지 주파수 대역폭, DOA 정확도, 모호성

발생을 등 고려해야할 독립변수가 다수인 최적화 문제로 볼 수 있다. 본 절에서는 3개 안테나 소자로 구성된 선형배열에서 논하모닉 모호성 제어 알고리즘을 기술하고 3개 이상의 임의 배열에서 적용 가능하도록 알고리즘을 일반화한다.

그림 1과 같이 배치된 듀얼베이스라인 선형배열 안테나에서 측정한 2개 위상차인  $\widehat{\phi}_{12}$ 와  $\widehat{\phi}_{13}$ 는 식 (1)을 이용하여 식 (2)와 식 (3)과 같이 표현할 수 있으며,  $\widehat{\phi}_{12}$ 와  $\widehat{\phi}_{13}$ 는  $[-\pi, \pi]$ 의 범위를 갖는다.

$$\widehat{\phi}_{12} = 2\pi d_{12}/\lambda \sin\theta - 2\pi k_2 \quad (2)$$

$$\widehat{\phi}_{13} = 2\pi d_{13}/\lambda \sin\theta - 2\pi k_3 \quad (3)$$

여기서  $k_2 = \text{round}(d_{12}/\lambda \sin\theta)$   
 $k_3 = \text{round}(d_{13}/\lambda \sin\theta)$  임.

$k_2$ 과  $k_3$ 가 갖는 정수 값의 범위는 식 (4)와 식 (5)와 같고, 특히  $k_3$ 는 식 (6)과 같이 정리할 수 있다.

$$|k_2| \leq d_{12}/\lambda + \frac{1}{2} \quad (4)$$

$$|k_3| \leq d_{13}/\lambda + \frac{1}{2} \quad (5)$$

$$\left(k_2 - \frac{1}{2}\right) \frac{d_{13}}{d_{12}} - \frac{1}{2} < k_3 \leq \left(k_2 - \frac{1}{2}\right) \frac{d_{13}}{d_{12}} + \frac{1}{2} \quad (6)$$

또한 식 (2)와 식 (3)에 대한 연립방정식을 최종 방탐 정확도를 결정하는 측정 위상차  $\widehat{\phi}_{13}$ 에 대해 정리하면 식 (7)과 같다.

$$\widehat{\phi}_{13} = \frac{d_{13}}{d_{12}} \widehat{\phi}_{12} + 2\pi \left(\frac{d_{13}}{d_{12}} k_2 - k_3\right) \quad (7)$$

그림 2를 참조하여 위상 모호성이 발생하지 않는 영역을 결정하기 위해 2개 직선간의 거리  $\phi_a$ 를 구해보면 식 (8)과 같다.

$$\phi_a = L_a \cdot \cos\left(\tan^{-1}\left(\frac{d_{13}}{d_{12}}\right)\right) \quad (8)$$

따라서 측정 위상값( $\widehat{\phi}_{12}$ 와  $\widehat{\phi}_{13}$ )이 모호성이 발생

되지 않는 영역 내에 존재하기 위해서는 인접한 2개 직선간의 거리의 절반이하 즉,  $\phi_a/2$ 이하 조건을 만족해야 한다. 인접한 2개 직선간의 거리는 이격비에 따라 달라지게 된다. 직관적으로 전체적으로 2개 직선간의 거리가 균등하게 분포된 경우가 양호한 이격거리비로 판단할 수 있다. 또한 식 (1)의 sin함수의 특성에 따라 개별적인 분해능이 다르며, 탐지각과 이격비에 따라 직선 전체를 활용하지 않는 경우가 대부분이다.

그림 2에서, 임의의 위상차 측정값  $\mathbf{M}$ 에서 인접한 직선들 중에서 최소거리인 계수쌍( $k_2, k_3$ )을 갖는 직선을 선택하게 된다. 이 때 선택된 직선까지의 거리는 식 (9)와 같이 정리할 수 있다.

$$D = \frac{\widehat{\phi}_{13} - \phi_{13}(\theta)}{\sqrt{1 + (d_{13}/d_{12})^2}} \quad (9)$$

상기 과정을 통해 미정계수쌍이 결정되면  $\widehat{\phi}_{13}$ 와  $k_3$  값을 식 (3)에 적용하여 입사 신호의 방위각인  $\hat{\theta}$ 를 추정하게 된다.

식 (9)를 이용한 미정 계수쌍 선택 방식을 사용할 경우, 탐지각 및 이격비에 따라 위상차 공간 전체를 효과적으로 활용하지 못한다. 따라서 본 연구에서는 유사도(similarity) 측정<sup>[12]</sup>에 사용되는 유클리드 거리(euclidean distance)  $d_E$  값을 배열 설계 접근법에 사용하여 안테나 소자가 3개 이상인 임의 배열 구조에 적용 가능하도록 일반화 즉,  $E[(\hat{\phi} - \phi(\theta))]$ 를 최소화하는 MMSE 추정기를 유도한다. 여기서 기댓값은 확률밀도함수  $p(x, \phi(\theta))$ 에 대해 취해진다. 추정기 오차는  $e = \hat{\phi} - \phi(\theta)$ 이고, MSE 기준은  $E[C(e) = e^2]$ 를 최소화한다. 여기에서 비용함수  $C(e)$ 는 quadratic이고, Bayes 위험함수는 곧 MSE가 된다<sup>[2]</sup>. 위상 인터페로미터에 대한 비용함수는 식 (10)과 같이 정의할 수 있다.

$$g(\theta) = e^T(\theta)R^{-1}e(\theta) \quad (10)$$

$$= \sum_{i=2}^M (\widehat{\phi}_{i1} - \phi_{i1}(\theta))^2$$

여기서,

$$e(\theta) = [\widehat{\phi}_{21} - \phi_{21}(\theta), \dots, \widehat{\phi}_{M1} - \phi_{M1}(\theta)]^T \text{임.}$$

DOA 추정  $\hat{\theta}$ 는 식 (11)과 같이 선택된다.

$$g(\hat{\theta}) = \arg \min_{\text{straights}} \{d_E(k_2, \dots, k_M)\} \quad (11)$$

여기서,

$$d_E(k_2, \dots, k_M) = \left( \sum_{i=2}^M (\hat{\phi}_{i1} - \phi_{i1}(\theta))^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

식 (11)과 같이 위상차 공간에서 유클리드 거리 함수를 이용한 배열 구조 설계 메소드는 거리함수의 속성이 갖는 장점에 기인해 최소 이격거리가 반파장이이상인 경우에도 사용할 수 있을 뿐만 아니라, ULA(uniform linear array) 및 NLA(nonuniform linear array) 뿐만 아니라, 평면을 포함한 임의의 배열 구성에 대해 적용 가능한 장점을 갖는다.

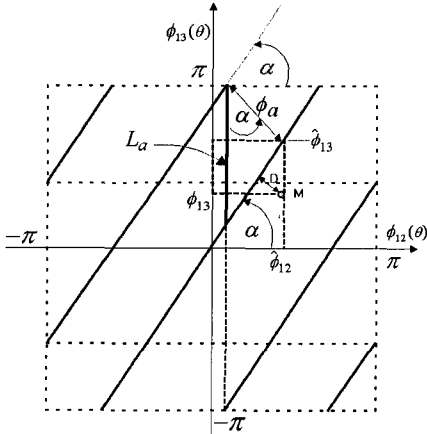


그림 2. 모호성 해결 다이어그램

#### IV. 시뮬레이션 및 실험결과

탐지각 범위 및 방향정확도를 고려한 위상오차의 범위를 식 (11)의 기준에 적용하여 2차원 배열 구조를 설계하기 위해 수치적 시뮬레이션 수행과 배열 안테나를 제작하여 시험결과를 분석한다.

##### 4.1 수치적 시뮬레이션

멀티베이스라인 배열 구조 설계에서 실제적인 어려움은 광대역 운용시 최소베이스라인을 최고주파수의 반파장 이하( $d_{\min} < \lambda_{\min}/2$ )로 설치하는 것이 용이치 않다는 것이다. 광대역 특성과 넓은 빔폭을 갖는 스파이럴 안테나는 광대역 운용에 널리 이용된다<sup>[12]</sup>. 통상 스파이럴 안테나의 지름은 수신하고자 하는 가장 낮은 주파수인  $\lambda_{\max}$ 의 약 절반정도이다. 탐지 주파수 대역이 3옥타브와 정도인 광대역을 대

상 주파수 범위로 갖는다고 가정하면,  $\lambda_{\max}$ 는  $\lambda_{\min}$ 의 3배가 된다. 전체 주파수 대역에서 모호성 없는 이격거리를 확보하기 위해서는 최고 주파수( $\lambda_{\min}$ )에서 반파장이이상이 되어야 한다. 3옥타브 대역폭을 갖는 경우, 2개 안테나를 최대 근접 설치한 경우에도 이격거리가 반파장의 1.5배 이상이 된다. 안테나의 테두리를 고려하면  $\lambda_{\min}$ 의 약 1.7파장 정도가 현실적인 최소거리가 된다. 결과적으로, 광대역 탐지시, 최소 이격거리가 탐지 주파수의 반파장 이상의 주파수에서 모호성 문제를 피할 수 없게 된다.

광대역 멀티베이스라인 2차원 배열 구조의 설계는 다음과 같은 접근법으로 수행하였다.

첫 번째 2차원 배열을 동시에 고려하여 설계하는 것은 복잡도가 매우 높기 때문에, 2개의 1차원 문제로 완화하여 설계를 수행한다.

이 경우 모호성 발생 확률은 1차원의 독립적인 측정에 근거하므로 2차원 방향탐지 장치에서 통합하는 경우 전체적인 모호성 해결 확률은 식 (13)과 같이 계산할 수 있다<sup>[15]</sup>.

$$P_{Total} = P_{EL} + P_{AZ} - P_{EL}P_{AZ} \quad (13)$$

여기서,  $P_{EL}$  : 고각에서 모호성 해결 확률

$P_{AZ}$  : 방위각에서 모호성 해결 확률

두 번째는 2개의 베이스라인의 센서 개수 및 베이스라인 크기는 탐지 요구자 및 정확도를 고려하여 비대칭을 포함하여 설계를 수행하는 것이다.

그림 3은 3개의 안테나 소자를 이용한 듀얼베이스라인에서 유효 탐지각이 60°인 경우에서 위상오차 35°에 대해 모호성이 발생하지 않는 몇 개의 이격비에 대해 위상 오차량을 70°까지 증가시킨 결과를 나타낸 것이다.

그 결과 모든 이격비가 위상오차 증가에 대해 모호성이 증가하여 모호성 해결 확률이 저하되고 있음을 볼 수 있다.

그림 4는 이격비  $\mathbf{d}=[1.8, 2.5]$ 의 시뮬레이션 과정에서 식 (12)의 동일 계수쌍별로 분류된 영역을 표시한 것이다. 유클리드 거리 함수를 이용해 분할함으로써 모두가 직선 영역으로 분할되지 않고 전체 위상차 공간영역을 효과적으로 활용하고 있는 것을 알 수 있다.

그림 5는 이격비  $\mathbf{d}=[1.8, 2.5]$ 에서 균일 랜덤위상오차 10°를 적용해 90°의 탐지각 범위에서 방위각

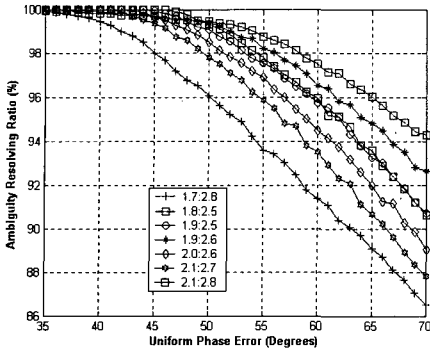


그림 3. 모호성 해결능력 확률분포

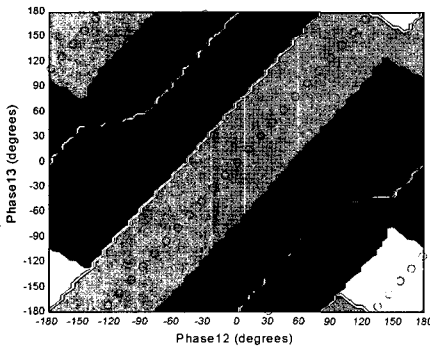


그림 4. 동일한 계수쌍을 가진 영역구분도

을  $0.2^\circ$  간격으로 방위 오차를 나타낸 것이다. 식 (1)의  $\sin$ 함수의 특성에 따라 보어사이트를 기준으로 양쪽으로 멀어짐에 따라 방위각 오차가 점차 증가하는 경향을 확인할 수 있다.

그림 5의 경우 모호성이 발생하지 않았으나, 모호성이 발생하는 경우 매우 큰 오차를 유발시켜 정확도를 급격히 저하시키게 되므로 모호성 발생률이 가장 적게 발생하는 이격비를 선정하는 것이 궁극적으로 방탐정확도를 향상시킬 수 있다는 것을 증명하다.

또한 이격비중  $d=[1.8,2.5]$ 에 대해 주파수별 특성을 확인하기 위해 유효 탐지각  $60^\circ$ 에 대해 균일 랜덤위상오차를 적용한 결과는 그림 6과 같다. 최외각 이격거리가 2.5인 경우, 위상오차  $35^\circ$  이상에서 100% 모호성 해결이 되지 않으나 나머지 주파수에 대해서는  $35^\circ$  이상까지 모호성이 발생하지 않음을 볼 수 있다. 그림 6에서 주파수가 낮아짐에 따라 모호성 해결확률이 점차 향상되고 있음을 확인할 수 있다.

유효 탐지각이  $120^\circ$ 와 방향탐지 정확도를 만족할 수 있는 NLA 구조를 설계하기 위해 듀얼베이스

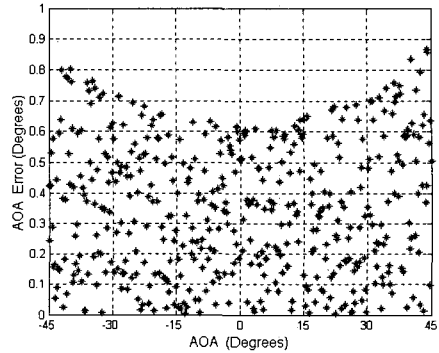


그림 5. AOA(Angle of Arrival) 정확도 분포

라인 시뮬레이션 결과를 참조하여 1개 안테나를 추가하여 4개 안테나 소자를 이용한 트리플베이스라인에서 시뮬레이션을 수행하였다.

상기 조건하에 시뮬레이션 결과, 그림 7(a)와 그림 7(b)는 위상오차  $35^\circ$ 에서 모호성이 발생하지 않은 양호한 3개의 이격비에 대해 위상 오차량을  $70^\circ$ 까지 증가시키고 상응하는 방탐 오차 분포를 각각 나타낸 것이다.

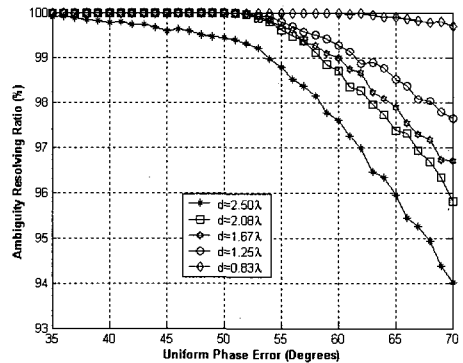


그림 6. 주파수별 모호성 해결확률 (탐지각  $60^\circ$ )

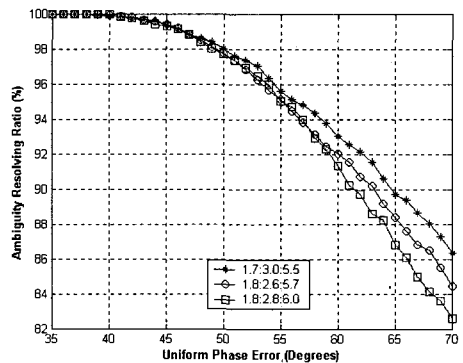


그림 7(a). 이격비별 모호성 해결 확률 분포

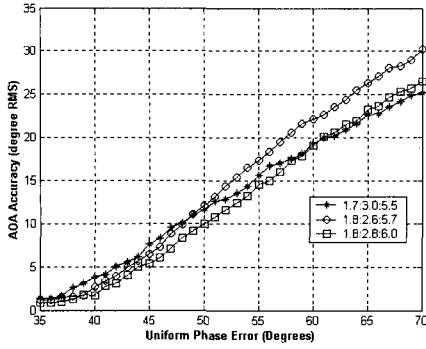


그림 7(b). 이격비별 방탐오차 분포

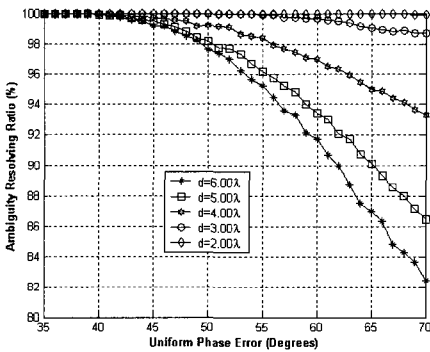


그림 8. 주파수별 모호성 해결능력(탐지가 120도)

그림 7(a)와 그림 7(b)의 그래프를 보면, 모호성 해결 비율과 방탐오차 분포가 완전히 일치하지 않는 것을 볼 수 있다. 이것은 3개 이격비의 상대적인 비교에서 모호성 발생이 방향탐지 정확도에 미치는 영향 차이에서 기인한 것으로 판단된다. 따라서 최악의 장비 운용 조건에 근거하여 이격비를 선정하는 것이 궁극적으로 성능을 향상시키는 것이 된다.

그림 7(a)의 이격비중  $d=[1.8, 2.8, 6.0]$ 에 대해 주파수별 특성을 확인하기 위해 유효 탐지가  $120^\circ$ 에 대해 균일 랜덤위상오차를 적용한 결과는 그림 8과 같다. 최외각 이격거리가 6.0인 경우, 전체 주파수 범위인 3 옥타브에서 위상오차  $40^\circ$  이상에 대해서는 100% 모호성 해결이 되지 않음을 볼 수 있다. 그림 6에 비해 모호성 해결확률이 주파수에 따라 크게 변화하는 것을 볼 수 있다. 그림 6과 마찬가지로 주파수가 낮아짐에 따라 모호성 해결확률이 점차 향상되고 있음을 확인할 수 있다. 따라서, 그림 6과 그림 8에서 확인할 수 있는 것은 최상위 주파수가 모호성 발생률이 가장 높기 때문에 광대역 배열 구조 설계시 최상위 주파수에 대해서만 고

려하면 된다는 것을 알 수 있다. 그러나 최하위 주파수인 경우 상대적인 이격거리비 즉, 배열 크기가 작아지므로 방향탐지 정확도에 미치는 영향을 고려해야 한다.

단일 신호를 대상으로 설계된 배열 구조가 다중 신호 입사시의 영향을 확인하기 위해 초분해능 알고리즘을 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 선정된 초분해능 알고리즘은 스마트 안테나에서 DOA기반 downlink 빔성형(beamforming)에서 많이 검토되고 있는 MUSIC과 Capon을 적용하였다<sup>[1,3,5,14]</sup>. 인코히어런트한 2개의 동일 파워 협대역 입사신호로  $35^\circ$ 와  $40^\circ$ 로 입사한다고 가정하였다(SNR은 5dB 임). 그림 9(a)는 모호성 해결 확률이 낮은 이격비인  $d=[2.0, 5.0, 6.0]$ 이고, 그림 9(b)는 양호한 모호성 해결 확률을 갖는 이격비인  $d=[1.8, 2.8, 6.0]$ 에 대해 입사각별 파워 스펙트럼을 도식한 것이다(배열 크기는 6.0으로 동일함). 그림 9(a)의 경우 MUSIC과 Capon 모두에서 모호성(false peaks)이 발생하였고, 그림 9(b)의 경우 모호성이 발생하지 않음을 알 수 있다.

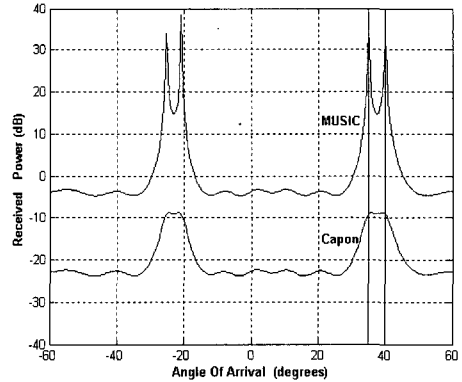


그림 9(a). MUSIC 및 Capon 스펙트럼 ( $d=[2.0, 5.0, 6.0]$ )

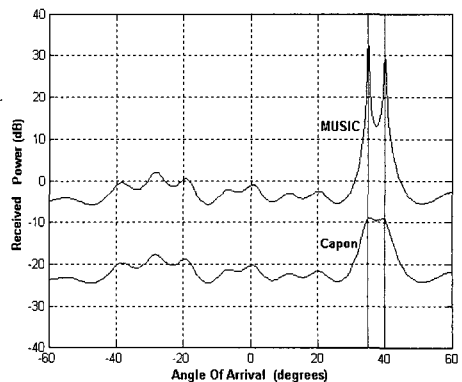


그림 9(b). MUSIC 및 Capon 스펙트럼 ( $d=[1.8, 2.8, 6.0]$ )

4.2 제작실험 결과

제안된 배열 구조 설계 접근법에 따라 선정된 2개 이격비를 이용하여 2차원 성능측정을 위한 실험을 위해 그림 10과 같이 제작된 비대칭 직교 배열 안테나(레이돔 제거)를 이용하여 수행하였다.

그림 11은 제작된 비대칭 직교 배열 안테나를 이용하여 측정된 2차원 DOA 오차 분포를 나타낸 것이다. 방위각 및 고각 모두에서 보어사이트를 중심 부근의 방탐 정확도가 우수한 반면, 보어 사이트에서 멀어질수록 성능이 저하됨을 볼 수 있다.

1차원 NLA로 분리하여 비대칭으로 설계된 2차원 배열 안테나는 최고주파수에서 탐지각 전체에서 모호성이 발생없이 고정확도로 측정되었음을 확인할 수 있다.

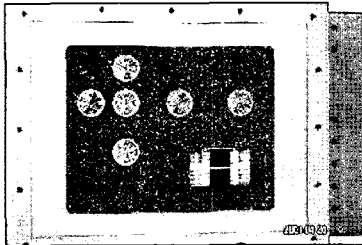


그림 10. 제작된 2차원 배열 안테나

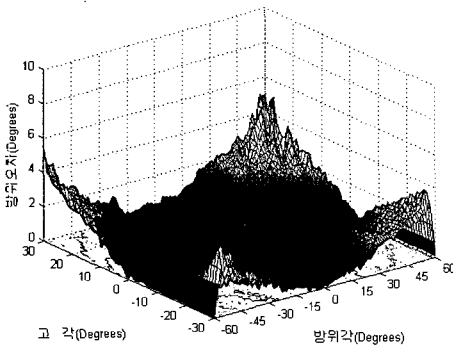


그림 11. 측정된 2차원 DOA 오차 분포

V. 결론

본 논문은 방위각과 고각을 동시에 탐지하는 2차원 멀티베이스라인 센서 배열 구조 설계에서 DOA 정확도를 유지하면서 센서 안테나수를 최소화하기 위한 배열 설계 메소드를 제안하였다. 제안된 메소드는 위상차 공간에서 유클리드 최소거리함수에 기반하고 있으므로 기존 접근법과 다르게 최소 이격

비가 반파장 이상인 경우에 대해서도 적용 가능하고 선형 뿐만아니라 임의 배열구조에서도 적용이 가능한 장점을 가지고 있다.

또한 시뮬레이션 결과, 최고 주파수에서 선정된 이격비는 하위 주파수에서 추가적인 모호성 제어가 불필요함을 알 수 있었다.

제안된 메소드가 다중신호 입력 조건에서도 배열 설계 구조에 효과적인지를 검토하기 위해 2개의 초분해능 알고리즘을 적용한 결과, 배열 안테나의 이격비가 양호한 경우에는 불요신호가 발생하지 않음을 확인하였다. 또한 제작된 2차원 비대칭 배열 안테나를 이용하여 모호성이 발생확률이 가장 높은 최고주파수에서 성능시험을 실시한 결과 모호성 발생없이 DOA가 측정되었다.

참고 문헌

- [1] Harry L. Van Tree, *Optimum Array Processing*, Wiley Interscience, pp.1139-1285, 2002
- [2] Steven M. Kay, *Fundamental of Statistical Signal Processing : Estimation Theory*, Prentice Hall, pp341-365, 1993
- [3] 박철순, 장원, 임중수, "임의 배열구조에 적용 가능한 초분해능 방탐기법 성능비교," *한국군사과학기술회 제9차 통신/전자 학술대회*, pp.289-294, 2005년11월
- [4] Cheol-Sun Park and Dae-Young Kim, "The Fast Correlative Interferometer Direction Finder using I/Q Demodulator," in *Proc. Asia-Pacific Conference on Communication (APCC 2006)*, IC1, Busan, Korea, Aug.31-Sep. 1, 2006.
- [5] C.M.Tan, M.A.Beach and A.R. Nix, "Problems with direction finding using linear array with element spacing more than half wavelength," *1st Annual COST 273*, May 2002.
- [6] Frnest Jacobs, "Ambiguity Resolution in Interferometry," *IEEE Trans. on Aeros. and Elect. Sys.*, AES-17, 1981.
- [7] Phillip E. Pace, *Advanced Techniques for Digital Receivers*, Artech House, pp.399 -415, 2000.
- [8] R. B. Dybdal et al., "Resolution of Interferometric Ambiguities," *IEEE Antennas and Propagation Society Inter. Sym.*, vol. 4, 2000.

- [9] Chen Li, "Performance Study of 2-D DOA Estimation Using UCA with Five Sensor," *IEEE Int. Conf. of Comm., Circuits and Systems and West Sino Expo.*, 2002.
- [10] K. R. Sundaram et al., "Modulo Conversion Method for Estimating the Direction of Arrival," *IEEE Trans. on Aeros. and Elect. Sys.*, AES-36, 2000.
- [11] David W. Horner, "Specification, Calibration and Testing of Phase Interferometers," *Micro-wave Journal*, Feb. 1988
- [12] David Hand et al., *Principles of Data Mining*, The MIT Press, pp.31-38, 2001.
- [13] James Tsui, *Digital Techniques for Wideband Receivers*, Artech House, pp. 461 - 469, 1995.
- [14] Joseph C. Liberti, Jr. Theodore S. Rappaport, *Smart Antennas for Wireless Communication: IS-95 and Third Generation CDMA Applications*, Prentice Hall, pp.253-284, 1999.

**박철순 (Cheol-Sun Park)**

정회원



1989년 2월 경기대학교 전자계산  
학과 학사

1991년 2월 인하대학교 전자계산  
공학과 석사

1991년 2월~현재 국방과학연구  
소 근무

1997년 5월 전자계산 조직응용

기술사

2003년 3월~현재 충남대학교 정보통신공학과 박사  
과정

<관심분야> 신호처리, 통신응용

**김대영 (Dae Young Kim)**

중신회원

한국통신학회 논문지 06-31-1A-10 참조