

엘리아싱 조건에서의 광대역 음향신호의 방위각 추정

Direction of Arrival Estimation under Aliasing Conditions

윤 병 우*

Byungwoo Yoon

요 약

탱크나 경유자동차 등과 같이 지상에서 이동하는 차량들의 엔진소음은 광대역 특성을 갖고 또한 지형의 다양성 및 표적의 이동으로 인한 다양한 반사 등으로 변화가 심하기 때문에 탐지나 추적이 쉽지 않다. 또한 전장 등과 같이 복잡한 환경에서는 배열안테나의 위치 선정 등의 어려움으로 엘리아싱이 일어날 수도 있다.

본 논문에서는 수동 배열 안테나의 성긴 배치로 인한 심각한 공간 엘리아싱 조건하에서 광대역 신호를 방사하는 이동체의 탐지 및 추적 문제에 대해서 연구하였다. 여기서 서브밴드 MUSIC 알고리즘에 근거한 고해상도의 방위각 추정 알고리즘을 개발하였다. 이것은 공간 엘리아싱으로 인하여 표적의 방위각 추정 값이 변할 때에도 실제의 방위각을 추정할 수 있는 알고리즘이다. 결과적으로 이 알고리즘이 성긴 안테나 배치로 인한 공간 엘리아싱 영향을 극복하고 위치 추정을 개선함을 보인다.

Abstract

It is difficult to detect and to track the moving targets like tanks and diesel vehicles due to the variety of terrain and moving of targets. It is possible to be happened the aliasing conditions as the difficulty of antenna deployment in the complex environment like the battle fields.

In this paper, we study the problem of detecting and tracking of moving targets which are emitting wideband signals under severe spatial aliasing conditions because of the sparse arrays. We developed a direction of arrival(DOA) estimation algorithm based on subband MUSIC(MULTIPLE SIGNAL CLASSIFICATION) method which produces high-resolution estimation. In this algorithm, the true bearings are invariant regardless of changes of frequency bands while the aliased false bearings vary. As a result, the proposed algorithm overcomes the aliasing effects and improves the localization performance in sparse passive arrays.

Key Words : Array, spatial aliasing, MUSIC, direction of arrival, bearing estimation

1. 서 론

신호의 특징 파라미터들 중 그 신호에 포함된 주파수 성분들을 해석하는 스펙트럼 분석은 시간영역신호의 주파수나, 공간을 통해 전파되는 평면파의 공간주파수 등을 분석함으로써 레이더 시스템, 소나 시스템, 지구물리학, 의공학, 음성인식 등 다양한 분야에 널리 이용되고 있다.

탱크나 경유자동차 등과 같이 지상에서 이동하는 차량

들의 엔진 소음은 특성이 광대역이고 또한 지형에 따른 변화가 심하기 때문에 탐지와 추적이 쉽지 않다. 공기 중을 통해 전송되는 음향신호에서 높은 주파수는 거리가 멀수록 대기에서 감쇠가 심하고 낮은 주파수는 바람으로 인해 쉽게 왜곡되기 때문에 200미터 이상의 표적으로부터 방사되는 신호의 탐지에 이용할 수 있는 신호 영역은 대략 20~200Hz 대역으로 국한된다[1]. 또한 헬리콥터나 소형 비행기 등과는 달리 지상에서 이동하는 차량들의 소음은 대기과 지형의 다양성으로 일정하지 못하고(nonstationary), 시변 다경로 현상으로 인한 페이딩이 심각하다. 따라서 비록 근거리일지라도 다양한 환경을 통해 전달되는 이들 신호는 때로는 심하게 왜곡된다[2].

*경성대학교 전기 전자 컴퓨터 공학부

접수 일자 : 2003. 1. 27 수정 완료 : 2003. 5. 13

논문 번호 : 2003-1-16

※본 논문은 2001년도 경성대학교 연구년 지원으로 연구되었음.

최근 군용 차당 등의 광대역 음원에 대해 수동 배열안테나를 이용한 방위각 추정에 대한 관심이 고조되고 있다. 배열 안테나는 시스템 요구조건이나 공간 문제 등으로 인하여 센서의 개수나 기하학적 배치가 제한되기도 한다. 따라서 이러한 경우 페리오도그램이나 코렐로그래프 등과 같은 전통적인 빔 형성 기술들에서는 공간해상도가 열악하므로 MUSIC 알고리즘 등과 같은 고해상도의 DOA 알고리즘을 이용한다. 그러나 배열 안테나의 센서간 거리가 멀어서 공간주파수를 샘플링할 때 엘리아싱이 생길 경우는 이러한 알고리즘들도 가짜의 첨두값들로 인하여 성능이 매우 저하된다. 논문에서는 이와 같이 생긴 배열센서의 배치로 공간주파수를 샘플링할 때 생기는 엘리아싱 조건에서 음향신호의 방위각 추정 개선에 관한 연구를 수행하였다.

11. 서브밴드 MUSIC 알고리즘

스펙트럼 분석 알고리즘은 페리오도그램, 코렐로그래프 등과 같은 고전적인 방법과 AR모델, MA 모델, ARMA 모델 등과 같은 파라메터릭(parametric) 방법, 그리고 최소분산알고리즘, 고유치분해방법 등과 같은 고해상도 알고리즘으로 대별할 수가 있다. 고전적인 방법은 푸리에변환을 이용하는 방법으로 알고리즘이 비교적 간단한 반면 주파수 추정 해상도가 낮고 사이드로브가 많다. 또한 파라메터릭 방법은 스토캐스틱 신호를 입력하여 원하는 신호를 발생시킬 수 있는 필터의 가중벡터를 구함으로써 고전적 방법보다 해상도가 뛰어난 방법으로서, 최대엔트로피 방법과 선형예측방법 등이 있다. 이 방법들은 해상도를 높이기 위해 예측차수를 늘리면 이에 비례해서 의사첨두치들이 발생한다는 단점이 있다. 고해상도방법인 최소분산알고리즘과 MUSIC 방법 등에서는 해상도는 좋으나 고유치의 취사선택과정에서 신호에 포함된 정현파의 개수에 대한 사전 지식이 필요하다. 적은 갯수의 센서로 고해상도의 신호의 입사각을 추정할 시는 주로 최소분산알고리즘, MUSIC 알고리즘 등과 같은 고해상도 알고리즘을 이용한다[3].

M 개의 배열센서들이 선형이라 가정하면 수신된 신호는 l 개의 상관관계가 없는 신호들의 중첩으로 생각할 수가 있다. 여기서 $s_i(t)$ 를 i 번째 신호로써 θ_i 방향에서 입사하는 신호라 가정하면 수신된 신호는 다음과 같이 모델링할 수 있다.

$$\mathbf{y}(t) = \sum_{i=1}^l \mathbf{a}(f_i, \theta_i) s_i(t) + \mathbf{n}(t) = \mathbf{A}(\theta) \mathbf{s}(t) + \mathbf{n}(t) \quad (1)$$

여기서 $\mathbf{y}(t) = [y_1(t) \ y_2(t) \ \dots \ y_M(t)]^T$,

$$\mathbf{a}(f_i, \theta_i) = [e^{-j2\pi f_i \frac{d_0 \sin \theta_i}{c}} \ \dots \ e^{-j2\pi f_i \frac{d_{M-1} \sin \theta_i}{c}}]^T,$$

$$\mathbf{A}(\theta) = [\mathbf{a}(f_1, \theta_1) \ \mathbf{a}(f_2, \theta_2) \ \dots \ \mathbf{a}(f_l, \theta_l)],$$

$$\mathbf{s}(t) = [s_1(t) \ s_2(t) \ \dots \ s_l(t)]^T,$$

$$\mathbf{n}(t) = [n_1(t) \ n_2(t) \ \dots \ n_M(t)]^T$$

로 각각 임의의 시간 t 에서 M 개의 센서에서 출력값 벡터, 중심주파수 f_i 에 대한 구동(steering)벡터, 구동행렬, l 개의 입사파 벡터, M 개의 각 센서에 대한 잡음 벡터를 나타낸다. $l \times 1$ 벡터 $\mathbf{s}(t)$ 는 신호원들을 나타내고, 행렬 $\mathbf{A}(\theta)$ 는 전달행렬 또는 공간 특성 행렬을 나타낸다. 즉, 평면파에서 이 행렬은 입사파의 입사 방향들을 나타낸다. 또한 $\mathbf{n}(t)$ 는 여러 가지 이유에 의한 첨가 잡음을 나타낸다. 이 잡음은 대개 가우시안 특성으로 모델링 되는 공간 백색잡음이라 할 수 있다. d_0, d_1, \dots, d_{M-1} 이 기준 센서에서 각각 센서까지 떨어진 거리라고 하고, c 를 신호의 전달속도, 그리고 f_i 를 협대역 신호의 중심주파수라고 할 때, $\mathbf{a}(f_i, \theta_i)$ 는 각 센서에 대한 구동벡터이다. 식 (2)와 같이 M 개의 각 센서에서 입력된 신호를 각각 N 개씩 샘플링한 행렬을 \mathbf{Y} 로 나타내면 입력된 신호의 상호분산 매트릭스 \widehat{R}_{yy} 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} y_1[0] & y_1[1] & \dots & y_1[N-1] \\ y_2[0] & y_2[1] & \dots & y_2[N-1] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_M[0] & y_M[1] & \dots & y_M[N-1] \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\widehat{R}_{yy} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \mathbf{Y} \mathbf{Y}^H \quad (3)$$

여기서 H 는 행렬의 공액 복소 전치를 의미한다. \widehat{R}_{yy} 행렬의 고유치를 구하여 크기의 내림차순으로 순서화 하여 $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_M$ 으로 나타내면 $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_l \gg \lambda_{l+1} = \dots = \lambda_M = \sigma_n^2$ 와 같다. 여기서 σ_n^2 은 잡음 $\mathbf{n}(t)$ 의 분산이다. 이때 $M > l$ 이라고 가정한다. 각각의 고유치에 대한 고유벡터를 $\mathbf{v}_1, \mathbf{v}_2, \dots, \mathbf{v}_M$ 이라고 하면 이들 벡터는 신호 부분공간행렬 \mathbf{V}_s 와 잡음 부분공간행렬 \mathbf{V}_n 으로 다음과 같이 분해할 수 있다.

$$\mathbf{V}_s = [\mathbf{v}_1 \ \mathbf{v}_2 \ \dots \ \mathbf{v}_l] \quad (4)$$

$$\mathbf{V}_n = [\mathbf{v}_{l+1} \ \mathbf{v}_{l+2} \ \dots \ \mathbf{v}_M] \quad (5)$$

신호부분공간과 잡음부분공간으로 분해한 후 MUSIC 알고리즘을 이용한 방위각 추정은 다음과 같이 수행된다.

$$\hat{P}(\theta) = \frac{1}{\sum_{i=1}^M |a(f, \theta)^H v_i|^2} \quad (6)$$

M개의 센서를 이용하여 입사 신호를 샘플링할 경우 센서간의 거리가 입사신호 공간주파수의 반파장 이상이 될 경우 앨리아싱으로 인하여 MUSIC 알고리즘의 출력은 많은 기생 첨두치를 갖기 때문에 입사신호의 방향을 정확히 추정하기가 어렵다. 따라서 본 연구에서는 그림 1과 같이 서브밴드 MSUSIC 알고리즘을 이용하여 기생 첨두치를 감소시킬 수 있는 방법을 제안하였다.

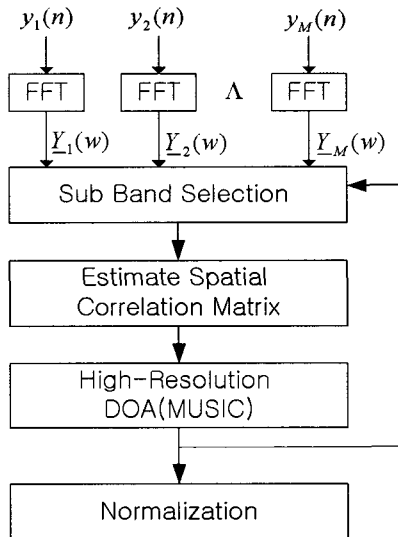


그림 1. 서브밴드 MUSIC 알고리즘의 블록도
Fig. 1. Block diagram of subband MUSIC

서브밴드 MUSIC 알고리즘을 적용하기 위해서 먼저 M개의 센서 각각에서 N개의 데이터를 받아들인 후 FFT를 한다. 이 때 i번째 센서의 입력된 N개의 데이터를 FFT한 결과 중에서 신호의 세기가 비교적 강한 대역만 골라낸 후 이것을 K개의 서브밴드로 나눈 결과를 Yi로 나타낸다고 하자. 여기서 이 신호를 K개의 서브밴드로 분할했을 때 각 서브밴드의 중심주파수를 fk라고 하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Y_i(f) = [Y_i(f_1) \cdots Y_i(f_k) \cdots Y_i(f_K)] \quad (7)$$

여기서 각 서브밴드에 P개의 주파수 성분이 포함되도록 하였다면 k번째 서브밴드 Yi(fk)는 1×P 차원이 된다.

따라서 M개의 센서 각각의 신호의 스펙트럼에서 k번째 서브밴드에 대한 주파수 성분들을 M×P 행렬로 나타내면 다음과 같다.

$$\psi(f_k) = [Y_1^T(f_k) \ Y_2^T(f_k) \ \cdots \ Y_M^T(f_k)]^T \quad (8)$$

따라서 이것의 상호분산행렬은 M×M으로 식 (9)와 같다.

$$\widehat{R}_{\psi\psi}(f_k) = \frac{1}{P} [\psi(f_k) \psi(f_k)^H], \quad k=1,2,\dots,K \quad (9)$$

k번째 서브밴드의 상호분산행렬인 $\widehat{R}_{\psi\psi}(f_k)$ 의 고유벡터들에 대한 신호부분공간 고유행렬을 $[v_1^k \ v_2^k \ \cdots \ v_l^k]$, 잡음부분공간의 고유행렬을 $[v_{l+1}^k \ v_{l+2}^k \ \cdots \ v_M^k]$ 라고 하면 k번째 서브밴드에 대한 빔 패턴은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

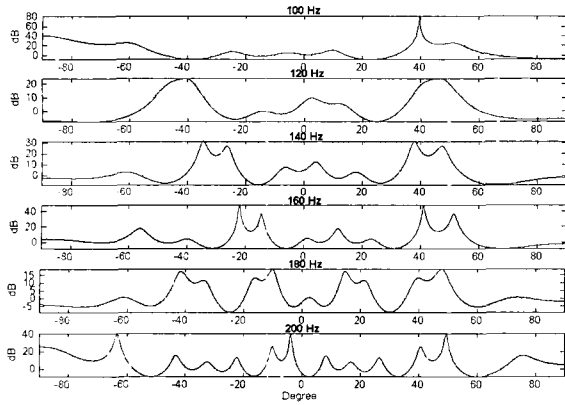
$$\widehat{P}^k(f_k, \theta) = \frac{1}{\sum_{i=l+1}^M |a(f_k, \theta)^H v_i^k|^2} \quad (10)$$

여기서 $a(f_k, \theta)$ 는 k번째 서브밴드의 구동 벡터이다. 앨리아싱이 있는 경우 기생 첨두치가 많아 정확한 방위각을 찾아내기가 어렵다. 하지만 중심주파수가 변해도 원하는 방향의 첨두치의 위치는 변하지 않는 반면 기생 첨두치에 해당하는 방향은 달라진다. K개의 서브밴드에 대하여 빔 패턴을 구하고, 이들의 K개의 값들을 정규화하면 다음과 같다.

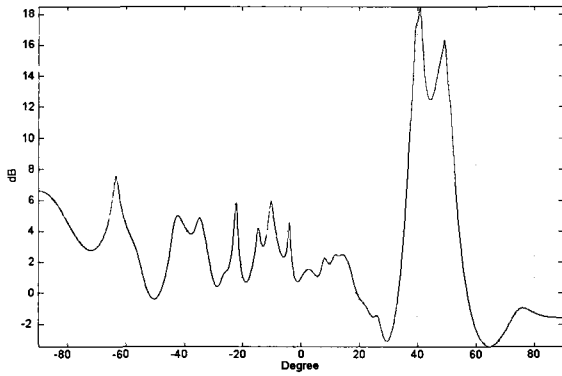
$$\widehat{P}(\theta) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \widehat{P}^k(f_k, \theta) \quad (11)$$

선형 불균일 배열센서의 경우 센서 간격의 비주기성으로 인하여 앨리아싱 효과가 현저히 줄어든다[6-8]. 그림 2(a)는 몇가지 다른 서브밴드들에 대한 방위각 빔패턴의 예이다. 이 그림에서 첨두치의 위치는 각 서브밴드에서 추정된 방위각을 나타낸다. 각 서브밴드에서 앨리아싱으로 인한 첨두치가 많이 나타남을 알 수가 있다. 하지만 실제 방위각은 모든 서브밴드에서 변하지 않으나 앨리아싱으로 인한 첨두치들은 서브밴드들 마다 위치가 변함을 알 수가 있다. 따라서 각 서브밴드들을 서로 더하면 원하는 방위각의 신호들은 양으로 더해지는 반면 앨리아싱으로 인한 데이터들은 불규칙적으로 나타남으로 평탄화가 일어남을 알 수가 있다. 따라서 실제 방위각의 빔 패턴의 진폭은 증가하고 앨리아싱으로 인한 것들은 억제됨으로써 실제 방위각을 쉽게 찾을 수 있음을 알 수가 있다. 그림 2(b)는 서브

밴드 출력들을 합한 결과 빔 패턴을 보여준다.



(a) 서로 다른 서브밴드들에 대한 빔 패턴



(b) 각 서브밴드를 통합한 결과의 빔 패턴

그림 2. 각각 서로 다른 서브 밴드에서의 DOA 추정과 결과 빔 패턴

Fig. 2. DOA estimation for different subband and the resultant beampattern

III. 시뮬레이션 결과

육상 이동 차량의 음향 중에서 탐지 가능한 스펙트럼은 대개 20~200Hz이고, 이들은 음향특성은 엔진의 소음과 트랙의 소리로 인한 많은 고조파를 함유하고 있다. 더욱이 이들 신호의 특성은 주변환경에 따라 변하고 차량의 이동으로 인한 심한 페이딩 현상을 나타낸다. 이러한 제한된 스펙트럼 대역에서 본 논문에서는 위상지연으로 인한 시간지연 특성이 크게 바뀌지 않고, 큰 주파수 대역폭으로 인한 분산을 줄이기 위하여 전체 스펙트럼을 대역폭이 20Hz인 여러 개의 서브밴드로 나누었다. 따라서 각 서브밴드는 협대역이라는 가정을 만족한다고 할 수 있다[9].

서브밴드 MUSIC 방법의 예를 보이기 위해서 본 논문에서는 서로 다른 전력을 방사하며 움직이는 3개의 표적의 탐지에 대한 시뮬레이션을 하였다. 그림 3은 센서 어레이에서 1,000미터 전방에서 좌우로 움직이는 3개의 표적에 대한 시뮬레이션 결과이다.

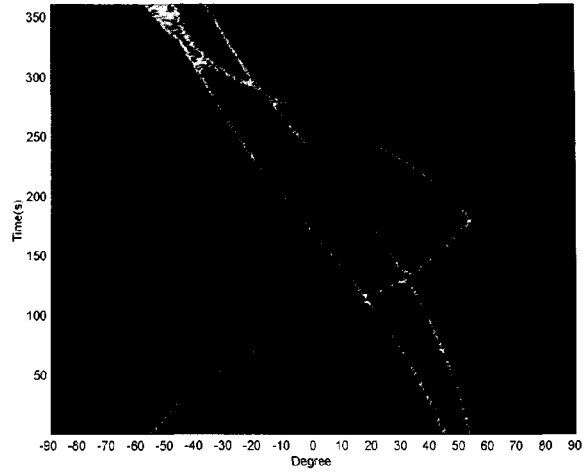


그림 3. 3개의 차량에 대한 서브밴드 MUSIC 빔패턴.
Fig. 3. Beampattern of subband MUSIC for three vehicles.

첫 번째 표적은 중앙으로부터 서쪽 1430미터 동쪽 1430미터까지 갔다가 다시 서쪽 1,430미터까지 35.5km/h로 이동하고, 두 번째 표적은 동쪽 1,000미터에서 서쪽 1,000미터 지점까지 12.3km/h로 이동하고, 세 번째 표적은 동쪽 700미터에서 서쪽 1,300미터지점까지 12.3km/h로 이동한다고 가정하였다.

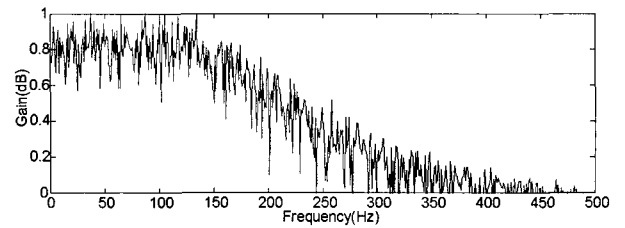
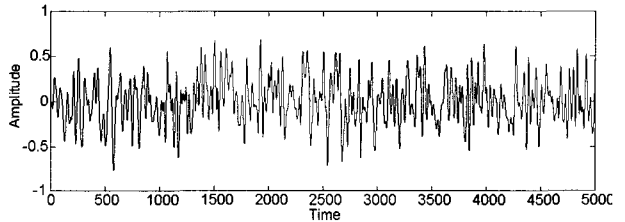
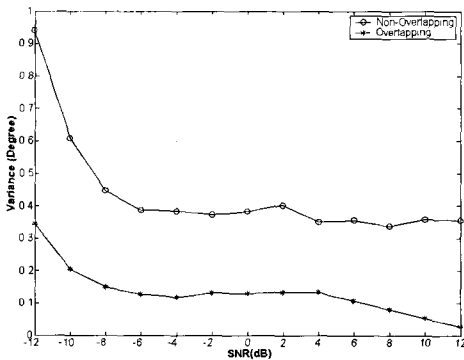


그림 4. 시뮬레이션에 사용된 신호의 예
Fig. 4. The example of a signal used in the simulation

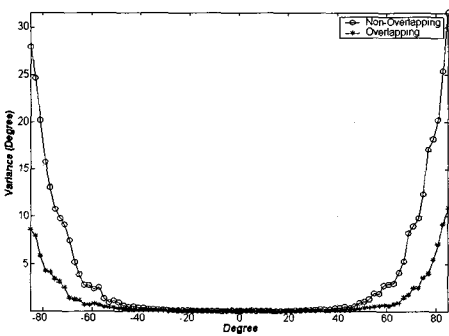
시뮬레이션에 사용된 신호는 차단주파수가 250Hz인 512차 FIR 필터의 입력으로 백색잡음을 입력하고 8.196km/h로 샘플링 한 것으로, 이러한 것의 한 예는 그림 4와 같다. 그림 3에서 표적 1의 SNR은 0dB이고 표적 2와 표적 3의 SNR은 각각 3dB로 하였다. 본 시뮬레이션에 배열 센서는 -9.8m -5.5m, 4m, 0m, 2m, 7.5m, 11m의 위치로 불균일 간격으로 배치하였다. 또한 음향의 전달속도는 340m/sec로 가정하였다

각 센서에 입력된 신호들의 FFT 값으로부터 50Hz부터 230Hz까지 중복을 하면서 17개의 서브밴드로 나누어 시뮬레이션을 하였고, 또한 50Hz에서 230Hz까지 중복을 하지 않고 대역폭 20Hz로 9개의 서브밴드로 나누어 시뮬레이션을 하기도 하였다. 본 실험에서 서브밴드 MUSIC 방법은 미약한 신호를 구분해낼 수 있고 강한 신호들 속에서 약한 신호의 마스킹 문제를 경감시킬 수 있음을 알 수 있었다.

그림 5 (a)는 방위각 -60° 와 $+60^\circ$ 사이에서 매 1. 마다 하나의 음원에 대한 입사각 추정치의 분산을 보여주고 있다. 각각의 SNR에 대해서 매 1. 마다 50번의 독립적인 시행을 함으로써 주어진 SNR에 대하여 분산을 구하기 위하여 총 6050번의 계산이 이루어 졌다.



(a) -60° 에서 $+60^\circ$ 사이에서 다양한 SNR 조건하에서 평균 분산

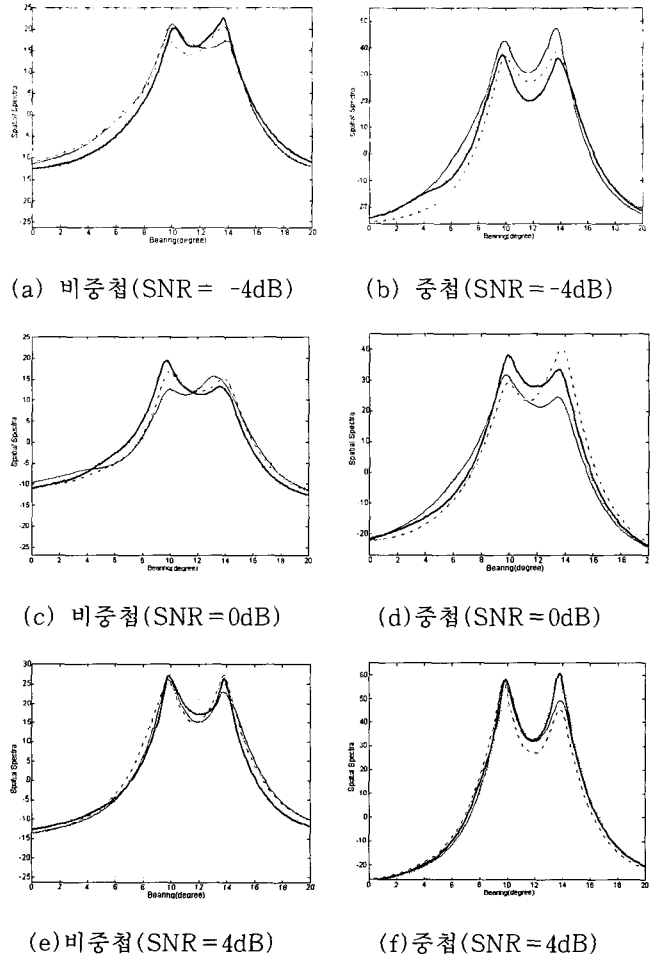


(b) -90° 와 $+90^\circ$ 사이에서 -12dB 와 12dB 에서 SNR의 분산

그림 5. 방위각 추정의 분산.
Fig. 5. Variance of bearing estimation.

그림 5 (b)는 -90° 와 $+90^\circ$ 사이에서 분산의 그래프를 보여주고 있는데, 이것은 각 방위각에 대하여 -12dB 에서 $+12\text{dB}$ 두가지 SNR에 대한 분산의 평균 값이다. 이 결과로 볼 때 중첩 방법이 비중첩 방법보다 성능이 좋다는 것을 알 수 있었다. -60° 와 $+60^\circ$ 사이에서 엘리아싱 조건하에서도 정밀한 입사각을 추정할 수 있다는 것을 알

수 있었다. 또한, 실험 결과에서 -90° 에서 -60° 사이, 그리고 $+60^\circ$ 에서 $+90^\circ$ 사이와 같이 표적의 입사각이 증가함에 따라 분산이 증가함을 알 수가 있는데 이것들에 대한 정확한 이유는 좀 더 연구가 되어야 할 것으로 사료된다.



(a) 비중첩(SNR = -4dB) (b) 중첩(SNR = -4dB)
(c) 비중첩(SNR = 0dB) (d) 중첩(SNR = 0dB)
(e) 비중첩(SNR = 4dB) (f) 중첩(SNR = 4dB)

그림 6. 10. 와 14. 로 떨어진 두 신호에 대해 서로 다른 SNR에 대한 방위각 추정
Fig. 6. Various bearing estimation at different SNR conditions.

그림 6 (a)(c)(e)는 입사각이 10. 와 14. 와 같이 근사한 경우에 대해 비중첩을 한 경우의 빔패턴 결과이며 (b)(d)(f)는 중첩 방법에 대한 결과 빔패턴이다. 이 그림에서 중첩방법이 일반적인 SNR 조건하에서는 비교적 예리한 첨두치를 갖고 있음을 알 수 있다. 이것은 중첩방법이 더 많은 빔 패턴을 구함으로써 실제방위각 이외에 대한 값들을 더 많이 억제시키기 때문으로 사료된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 탱크나 디젤엔진을 갖는 자동차 등에서 방사되는 소음을 이용하여 표적의 위치를 추정하는 알고리즘에 관하여 연구하였다. 음향을 이용하여 표적의 위치를 추정할 때 음파의 전파속도가 전파에 비하여 매우 느리기 때문에 공간 주파수의 샘플링을 위해서는 센서의 간격이 매우 좁아야 한다. 그러나 군사 목적으로 사용할 때 급박한 상황의 전개 등으로 인하여 센서 간격이 공간주파수의 나이퀴스트 샘플링 레이트를 만족하지 못할 경우가 있다. 이러한 경우에는 엘리아싱의 영향으로 스펙트럼이 심각하게 손상된다. 본 연구에서는 이와 같이 엘리아싱이 일어나는 경우의 광대역 신호에서 이들의 영향을 감소시킬 수 있는 알고리즘을 제시하였다. 제안된 알고리즘을 이용하여 다수의 표적에 대한 추정의 시뮬레이션을 해 본 결과 엘리아싱 조건의 배열 센서 배치에서 엘리아싱의 영향을 많이 감소시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.

V. 참고문헌

- [1] T. Pham and M. Fong, "Real-time implementation of MUSIC for wideband acoustic detection and tracking," *Proc. of SPIE AeroSense '97: Automatic Target Recognition VII*, Orlando, FL, April 1997.
- [2] T. Pham and B. M. Sadler, "Wideband Array Processing Algorithms for Acoustic Tracking of Ground Vehicles," *ARL Technical Report*, Adelphi, MD, 1997.
- [3] S. Lawrence Marple, *Digital Spectral Analysis with Applications*, Prentice-Hall, Inc. 1987.
- [4] M. A. Doron and A. J. Weiss, "On Focussing Matrices for Wide-Band Array Processing," *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol. 40, pp.1294-1320, June 1992.
- [5] H. Wang and M. Kaveh, "Coherent signal subspace processing for detection and estimation of angle of arrival of multiple wideband sources," *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, vol. ASSP-33, pp. 823-831, Aug. 1985.
- [6] M. Doron, E. Doron, and H. Weiss, "Coherent wide-band processing for arbitray array geometry," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 41, pp.414-417, Jan. 1993.
- [7] T. Liu and J. M. Mendel, "Azimuth and Elevation Direction Finding using Arbitray Array Geometries", *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol. 46, pp.2061-2065, July 1998.
- [8] M. Agrawal and S. Prasad, "DOA Estimation of Wideband Sources Using a Harmonic Source Model and

Uniform Linear Array," *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol. 47, pp. 619-629, March 1999.

[9] W. Mu, Y. Zhang, and M. G. Amin, "A subband MUSIC technique for direction finding," *IEEE Sarnoff Symposium on Advances in Wired and Wireless Communications*, Trenton, NJ, March 1999.



윤 병 우 (Byung-Woo Yoon)

正會員

1987년 부산대학교 전자공학과 공학사

1989년 부산대학교 전자공학과 공학석사

1992년 부산대학교 전자공학과 공학박사

1993년~1995년 한국전자통신연구원 선임연구

원

1995년~현재 경성대학교 전기전자·컴퓨터공학부 부교수
관심분야 : 배열안테나, 적응신호처리, 음성신호처리, VLSI 설계 등