

# 신호부각법과 결합된 선형예측방법을 이용한 도래각 추정

## Direction-of-Arrival Estimation Using Linear Prediction Method in Conjunction with Signal Enhancement Approach

오효성\* · 이성윤\*\* · 고정태\* · 김용득\*\*\* · 김영수\*\*

Hyo-Sung Oh\* · Seong-Yun Lee\*\* · Jeong-Tae Ko\* · Yong-Deak Kim\*\*\* · Young-Soo Kim\*\*

### 요 약

본 논문에서는 등간격 선형어레이로 입사하는 다중 인코히어런트 평면파의 도래각을 추정하기 위하여 신호부각법과 결합된 선형예측방법을 제안한다. 신호부각법의 기본 개념은 Frobenius norm 면에서 주어진 추정 행렬에 가장 가까이에 있는 주어진 rank의 공분산 행렬을 찾는 것이다. 선형예측방법은 높은 분해능을 보이거나 낮은 신호대 잡음비 환경에서 낮은 통계적 성능을 보이는 것으로 알려져 있다. 이 문제를 해결하기 위하여 선형예측방법에 신호부각법을 적용하였다. 낮은 신호대 잡음비 환경에서도 제안된 신호부각 선형예측 방법의 성능이 기존의 선형예측방법보다 우수한 통계적 성능을 제공함을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 알 수 있었다.

### Abstract

In this paper, we propose a Linear Prediction Method(LPM) in conjunction with signal enhancement for solving the direction-of-arrival estimation problem of multiple incoherent plane waves incident on a uniform linear array. The basic idea of signal enhancement is that of finding the covariance matrix of given rank that lies closest to a given estimated matrix in Frobenius norm sense. It is well known that LPM has a high-resolution performance in general applications, while it provides a lower statistical performance in lower SNR environment. To solve this problem, the LPM combined with signal enhancement approach is herein proposed. Simulation results are illustrated to demonstrate the better performance of the proposed method than conventional LPM.

### I. 서 론

공간 주파수인 신호 도래각을 추정하기 위하여 많은 어레이 신호처리 알고리즘들이 제안되었다.

이러한 방법들에는 빔형성 기술과 공간 공분산 행렬(spatial covariance matrix)의 고유특성(eigen-characterization)을 이용하는 방법으로 분류할 수 있다. 빔형성 기술들에는 1940년대부터 사용되어온 빔 형성 방법, Capon's MLM(Maximum Likelihood

\*LG정밀(주) 연구소(LG Precision Co., Ltd.)

\*\*경희대학교 전자정보학부(School of Electronics & Information, KyungHee University)

\*\*\*아주대학교 전자공학과(Department of Electronics, AJou University)

· 논문 번호 : 990503-043

· 수정완료일자 : 1999년 6월 17일

Method)<sup>[1]</sup>, 선형 예측방법(Linear Prediction Method)<sup>[2]</sup> 등이 있다. 이 중에서 1975년경에 소개된 선형 예측방법은 어레이 구조에서 얻은 한 샘플시간에서의 데이터들이 선형 예측 모델에 의해 표현된다는 것으로, M개의 센서로 구성된 어레이에서 한 센서에서의 샘플데이터가 다른 M-1개의 센서들의 선형 결합으로 표시된다는 의미를 갖는다. 이 선형 예측방법은 다른 빔 형성 기술에 비해 분해능은 좋으나 낮은 SNR 환경에서 다른 방법에 비해 큰 바이어스를 나타내는 것으로 알려져 있다.

신호 부각 알고리즘<sup>[3],[4]</sup>을 이용한 방법은 등간격 선형 어레이로 입사하는 다중 인코히어런트 평면파의 도래각 추정문제를 풀기 위하여 제안되었다. 신호 부각법은 기본적으로 잡음으로 인해 오염되어 왜곡된 신호를 복구하는 작업과 관련있다. 잡음없는 신호는 종종 이론적으로 잘 알려진 성질을 지니고 있는 것으로 알려져 있다. 예를 들어 등간격 선형 어레이의 공분산 행렬은 Toeplitz 구조를 가지며, positive semidefinite 성질과 고유 특성을 가지게 된다. 그러나, 공분산 행렬 추정을 할 때 그런 모든 성질을 가질 수는 없다. 신호 부각 알고리즘은 다음의 두 가지 과정으로 이루어진다. (i) Frobenius norm을 이용해 주어진 공분산 행렬로부터 위에 언급된 성질을 가지는 가장 가까운 부각된 행렬을 찾고, (ii) 부각된 행렬을 가지고 존재하는 도래각 추정 알고리즘(예, 선형 예측방법)을 적용하는 것이다. 이 신호 부각법을 이용한 선형 예측방법은 부각법을 하지 않은 선형 예측방법과 비교하였을 때 잡음이 없을 경우에 약간의 바이어스가 있는 단점이 있지만 그 바이어스를 보정하였을 때는 보다 향상된 도래각 추정값을 얻을 수 있다.

II절에서는 입사평면파 신호의 모델과 어레이의 공분산 행렬에 대한 특성을 살펴본다. III절에서는 선형 예측방법에 대하여, IV절에서 신호부각 알고리즘에 대하여 알아보고, V절에서는 제안된 신호 부각법을 이용한 선형 예측방법의 통계적 성능을 비교 분석하기 위하여 시뮬레이션 결과를 보여주

었으며 신호 부각법을 사용하지 않은 선형 예측방법과 비교하였다.

## II. 어레이 모델

본 절에서는 어레이 신호처리에서 자주 사용되는 신호모델과 공분산 행렬에 대해 알아본다. 이 신호모델은 대수학적 접근을 기본으로 하고 있으며 도래각 추정에 관한 이론적 분석은 다음에 주어진 가정을 토대로 전개된다.

- (1) 어레이 센서는 등방성이다. (균일한 이득과 위상차이는 0)
- (2) 입사 평면파 신호의 대부분 전력(또는 에너지)은 중심주파수  $\omega_0$ 에 위치하고 있으며 신호의 전파속도는 상수  $c$ 이다.
- (3) 부가성 잡음은 수신기 잡음과 외부 잡음을 모두 포함하여 잡음 공분산 행렬  $R_n$ 는 알려져 있다.(일반적으로 공간적인 백색 잡음으로 가정하여 단위행렬로 가정한다.)
- (4) 평면파 신호와 부가성 잡음은 평균값이 0인 W.S.S.(Wide-Sense Stationary)이며 서로 상호상관이 0인 에르год릭 복소 가우시안 랜덤과정이다.

3차원 공간상에 센서 위치벡터  $\mathbf{z}_1, \mathbf{z}_2, \mathbf{z}_3, \dots, \mathbf{z}_M$ 에 놓여있는 M개의 등방성 센서로 구성되어 있는 어레이로 방향벡터  $\mathbf{k}_1, \mathbf{k}_2, \mathbf{k}_3, \dots, \mathbf{k}_N$  방향으로부터 N개의 협대역 신호가 입사한다고 가정하면  $\mathbf{k}_n (1 \leq n \leq N)$  방향신호들에 대한  $m (1 \leq m \leq M)$ 번째 센서  $\mathbf{z}_m$ 에서 수신된 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$x_m(t) = \sum_{n=1}^N g_n(t) e^{j(\omega_0 \tau_n(m) + \varphi_n)} + \eta_m(t) \quad (1)$$

$$\tau_n(m) = \frac{\mathbf{z}_m \cdot \mathbf{k}_n}{c} \quad (2)$$

$$\mathbf{k}_n = [\cos \phi_n \cos \theta_n \quad \cos \phi_n \sin \theta_n \quad \sin \phi_n]' \quad (3)$$

여기에서  $\omega_0$ 는 반송주파수인 중심 라디안 주파수 ( $2\pi f_0$ ),  $c$ 는 신호의 전파속도,  $\phi_n$ 는  $n$ 번째 신호의 랜덤위상,  $g_n(t)$ 는  $n$ 번째 신호의 포락선 크기,  $\eta_m$ 는  $m$ 번째 센서의 부가성 잡음이다. 윗식에서  $\phi$ 는 앙각,  $\theta$ 는 방위각을 나타내며, "·"은 전치행렬(transpose) 연산자를 나타낸다.

식 (1)을 벡터 형태로 표시하면 다음과 같다.

$$\mathbf{x}(t) = S\mathbf{g}(t) + \boldsymbol{\eta}(t) \quad (4)$$

여기서 사용된 변수들은 각각 다음을 의미한다.

$$\mathbf{x}(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_M(t)]' \in C^M$$

$$S = [\mathbf{s}(\omega_0, \mathbf{k}_1), \mathbf{s}(\omega_0, \mathbf{k}_2), \dots$$

$$, \mathbf{s}(\omega_0, \mathbf{k}_N)] \in C^{M \times N}$$

$$\mathbf{s}(\omega_0, \mathbf{k}_n) = [e^{j\omega_0\tau_n(1)}, e^{j\omega_0\tau_n(2)}, \dots$$

$$, e^{j\omega_0\tau_n(M)}]' \in C^M$$

$$\mathbf{g}(t) = [g_1(t)e^{j\varphi_1}, g_2(t)e^{j\varphi_2}, \dots$$

$$, g_N(t)e^{j\varphi_N}]' \in C^N$$

$$\boldsymbol{\eta}(t) = [\eta_1(t), \eta_2(t), \dots, \eta_M(t)]' \in C^M$$

윗식에서 행렬  $S$ 는  $M \times N$  스티어링 행렬로서 각 열은 스티어링 행렬  $\mathbf{s}(\omega_0, \mathbf{k}_n)$ 로 구성되어 있으며 각 열은 서로 선형독립 관계를 갖는다.

신호의 공간 공분산 행렬은 도래각 추정은 물론 입사 평면과 신호의 갯수를 추정하는데 매우 유용한 도구로 사용된다. 어레이의  $M \times M$  공간 공분산 행렬은 다음과 같이 정의된다.

$$R = E[\mathbf{x}(t)\mathbf{x}^*(t)] \quad (5)$$

여기서  $E$ 는 기대값을 "·"는 복소 전치행렬(complex conjugate transpose) 연산자를 나타낸다. 식 (4)를 식 (5)에 대입하면 다음과 같이 표현된다.

$$R = SR_gS^* + \sigma_\eta^2 R_\eta \quad (6)$$

윗식에서  $N \times N$ 신호 공분산 행렬  $R_g$ 와  $M \times M$  잡음 공분산행렬  $R_\eta$ 는 각각 다음과 같이 주어진다.

$$R_g = E[\mathbf{g}(t)\mathbf{g}^*(t)] \quad (7)$$

$$\sigma_\eta^2 R_\eta = E[\boldsymbol{\eta}(t)\boldsymbol{\eta}^*(t)] \quad (8)$$

$M$ 개의 등간격 센서로 이루어진 선형어레이로  $N$ 개의 인코히어런트 신호가 입사한다는 가정 하에서 이상적인 공간 공분산 행렬  $R$ 은 다음과 같은 3가지 성질을 가짐은 잘 알려져 있다<sup>[3]</sup>.

- (1)  $R$ 의 가장 작은 고유값은 센서의 잡음 전력  $\sigma_\eta^2$ 과 같으며  $M-N$ 개가 있다.
- (2)  $R$ 은 Toeplitz 행렬이다.
- (3)  $R$ 은 Hermitian positive semidefinite 행렬이다.

### III. 선형예측방법

선형예측방법의 기본개념은 한 센서에서의 샘플 데이터가 다른  $M-1$ 개의 센서들의 선형결합으로 표시되는 것으로써 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\hat{x}_m(t) = - \sum_{i \neq m} w_i x_i(t) \quad (9)$$

신호는 지수함수 형태를 갖기 때문에 선형예측 모델을 적용하는 것이 바람직하며, 이때 센서에 입사하는 잡음신호가 지수함수 형태로 표현되지 못하므로 이런 이유로 오차가 발생할 수 있다<sup>[5]</sup>.

오차  $e_m$ 은 다음식과 같이 표현되며 선형예측 방법은 이 오차로 구성되는 평균제공 선형예측 오차를 최소화하는 계수벡터  $\mathbf{w}$ 를 구하는 데 기초한다.

$$\begin{aligned} e_m(t) &= x_m(t) - \hat{x}_m(t) \\ &= x_m(t) + \sum_{i \neq m} w_i x_i(t) = \mathbf{w}^* \mathbf{x} \end{aligned} \quad (10)$$

여기서 벡터  $w$  와  $x$  는 다음과 같이 주어진다.

$$w = [w_0, w_1, \dots, w_{m-1}, w_m, w_{m+1}, \dots, w_{M-1}]'$$

$$x = [x_0(t), x_1(t), \dots, x_{M-1}(t)]'$$

여기서 제한조건  $w_m = 1$ 로부터 오차에너지  $E [ |e_m(t)|^2 ]$ 를 최소화하는 계수벡터  $w$ 를 구하면 식 (11)과 같이 주어진다<sup>[1]</sup>.

$$w = \frac{R^{-1} \mu_m}{\mu_m^* R^{-1} \mu_m} \quad (11)$$

여기서  $\mu_m$ 는  $m$ 번째 요소가 1이고 다른 요소는 모두 0인 벡터이다. 어레이 신호처리에 있어서 선형 예측방법의 전력은 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$P(k) = \frac{1}{|w^* s|^2} \quad (12)$$

식 (11)의  $w$ 를 식 (12)에 대입하여 전력을 다시 표현하면 다음 과 같이 주어진다.

$$P_{LPM}(k) = \frac{(\mu_m^* R^{-1} \mu_m)^2}{|\mu_m^* R^{-1} s|^2} \quad (13)$$

#### IV. 신호부각 방법

##### 4-1 기본개념

그림 1은 신호 요소들의 집합  $X$ 와 특성집합  $S_k$ 에 대한 개념도이다.

신호 부각법은 이상적인 특성집합 요소 중에서 주어진 신호에 가장 가까운 요소를 찾는 것이다. 주어진 신호  $x$ 에 가장 근사하는 신호  $y \in S$ 는 최적화 문제를 푸는 것으로 얻어진다.

$$\inf_{y \in S} d(x, y) \quad (14)$$

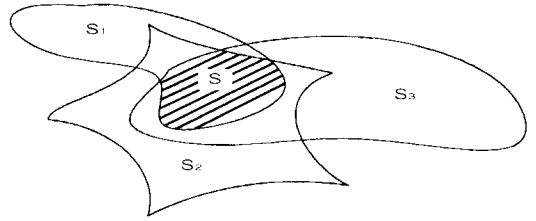


그림 1. 특성집합  $S_1, S_2, S_3$ 의 기하학적 설명  
Fig. 1. Metric space  $X$  and property sets  $S_1, S_2,$  and  $S_3$ .

여기서 “inf”는 극하한(greatest lower bound) 연산자이다. 대부분의 응용에서 동시에 각 특성 집합  $S_1, S_2, \dots, S_k$ 과 식 (14)을 만족하는 신호 표현을 찾는 것은 거의 어려운 일이다.

식 (14)의 최소화 문제의 해를 쉽게 구하기 위해서는 식 (15)과 같이 전체 문제를 각 개개의 특성 집합과 관계된  $K$ 개의 부분문제로 나누는 것이 유용하다. 특히 집합  $S_k$ 에서 임의의 신호  $x$ 에 가장 근접한 신호를 찾는 좀 더 간단한 일을 고려할 수 있다. 이 문제를 푸는 것은  $S_k$ 에서 최소화 문제를 해결하는 신호들을 찾는 것을 의미한다.

$$\inf_{y \in S_k} d(x, y) \quad (15)$$

식 (15)의 신호  $x$ 을 최소화 문제의 해집합  $G_k(x)$ 으로 매핑할 수 있다.

$$G_k : x \rightarrow G_k(x) \quad (16)$$

그림 2는 주어진  $x$ 와 특성집합  $S_k$ 와 해집합  $G_k(x)$ 에 관계를 나타낸 그림이다.

이 매핑은 보통 점 대 집합 매핑이다. 복합 특성 매핑  $G$ 는 각 신호 특성 매핑의 연속적인 수행으로 이루어진다.

$$G = G_K G_{K-1} \dots G_2 G_1 \quad (17)$$

또한 복합 특성 매핑  $G$ 도 보통 점 대 집합 매

신호부각법과 결합된 선형예측방법을 이용한 도래각 추정

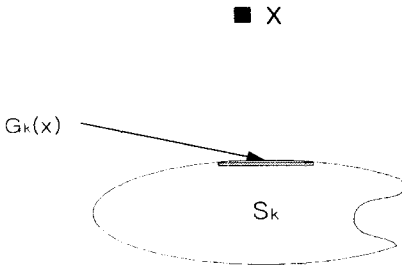


그림 2. 특성집합  $S_k$ 와 해집합  $G_k(X)$

Fig. 2. Property set  $S_k$  and solution set  $G_k(X)$ .

핑이다. 일반적인 신호  $x_m$ 과 결합된 신호부각 알고리즘은 다음과 같이 나타내어진다.

$$x_{m+1} = G_K G_{K-1} \cdots G_2 G_1 x_m \text{ for } m \geq 0 \quad (18)$$

여기에서 신호부각 접근법의 수렴 여부는 복합 특성 매핑  $G$ 가 닫혀있는지에 달려있다는 것에 주의한다. 매핑의 닫힘에 대해서는 참고문헌 [4]에 자세히 설명되어 있다.

#### 4-2 행렬의 특성매핑

이상적인 공분산 행렬  $R$ 은 인코히어런트 평면파에서 이론적으로 rank  $N$ 을 가지며 이와 관련된 이론은 (정리 1)에 주어져 있다.

[정리 1]  $\|R - R^{(N)}\|_F$ 이 최소화되는 rank  $N$ 을 갖는 최적화된 행렬  $R^{(N)}$ 은 다음과 같이 주어진다.

$$R^{(N)} = \sum_{k=1}^N \sigma_k \mathbf{u}_k \mathbf{v}_k^* \quad (19)$$

여기서  $R$ 은

$$R = \sum_{k=1}^M \sigma_k \mathbf{u}_k \mathbf{v}_k^* \quad (20)$$

이다. 여기서,  $\sigma_k$ 은 양의 실수값이고 내림차순

( $\sigma_k \geq \sigma_{k+1}$ )으로 되어 있다.  $\mathbf{u}_k$ 와  $\mathbf{v}_k$ 은 행렬  $R$ 의  $M \times 1$  정규직교 좌측과 우측 singular 벡터이다.

$A \in C^{M \times M}$ 인 행렬의 Frobenius norm은 다음과 같이 정의된다.

$$\|A\|_F = \left[ \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M |a(i, j)|^2 \right]^{1/2} \quad (21)$$

[정리 1]의 증명은 [6]에 주어져 있다. 이 행렬 매핑을 연산자  $G^{(N)}$ 으로 표현하면 다음과 같다.

$$R^{(N)} = G^{(N)}(R) \quad (22)$$

실제적 적용에 있어 이 특성 매핑은 신호처리의 다양한 응용에서 신호대 잡음비 증가의 효과를 나타낸다. 즉, 이 매핑에 의해 잡음 고유벡터의 원하지 않는 효과가 감소되어 신호대 잡음비 레벨이 증가되게 된다.

Toeplitz 구조 행렬은 신호처리 및 시스템 이론에서 매우 중요한 행렬이며  $R_x$ 의 두 번째 성질과 관련된 이론이 (정리 2)에 주어져 있다.

[정리 2]  $C^{M \times M}$ 에 속한 행렬을  $R$ , Hermitian-Toeplitz 행렬의 집합에 속한 행렬을  $R^{(T)}$ 라 하자.  $\|R - R^{(T)}\|_F$ 을 최소화하는  $M \times M$  Hermitian-Toeplitz 행렬의 첫 번째 열을 기술하면 다음과 같다.

$$r_i = \frac{1}{M-i} \sum_{k=1}^{M-i} r(k+i, k) \quad \text{for } 0 \leq i \leq M-1 \quad (23)$$

여기서  $r(k, m)$ 은  $R$ 의 성분을,  $r_i$ 는  $R^{(T)}$ 의 첫 번째 열의  $(i+1)$ 번째 요소를 나타낸다. (정리 2)의 증명은 [4]에 간단히 주어져 있다. 이 행렬 매핑을 연산자  $G^{(T)}$ 를 이용하여 표현하면 다음과 같다.

$$R^{(T)} = G^{(T)}(R) \quad (24)$$

Toeplitz 구조 행렬 접근은  $R$ 의 각 부대각(sub-diagonal) 성분의 평균으로 얻을 수 있으며 잡음의 효과를 감소시킬 수 있는 연산이다. 특히, 부가성 백색 가우시안 잡음 환경하의 어떤 정현파는 이 매핑에 의해 깨끗하게 잡음이 제거될 수 있다.

### 4-3 신호부각 알고리즘

실제적으로 공분산 행렬의 추정값은 II절에서 제시한 3가지 특성을 가지고 있지 않다. 그러나, 요구된 성질을 가지는 가까운 행렬 추정값을 생성하는 것으로 신호부각법 사용을 가능케 할 수 있다. 다음은 인코히어런트 평면파의 입사각 추정을 위하여 이 접근법을 적용하는 방법에 대하여 기술한다. 초기 행렬  $R_0$ 은  $R$ 의 공간 공분산 행렬 추정값이다.

$$R_k = G^{(T)}G^{(N)}(R_{k-1}) \quad \text{for } k \geq 1 \quad (25)$$

이 접근법에서는 rank  $N$  접근법에 이어 Hermitian-Toeplitz 구조 행렬 접근법을 주기적으로 반복 수행한다. 전형적인 반복 수행 방법에 대해 기술하면 매핑  $G^{(N)}$ 을 수행한 후에  $G^{(N)}(R_{k-1})$ 은 앞에서 기술한 Hermitian-Toeplitz 구조 특성을 가지고 있지 않다. 따라서 Toeplitz 구조를 되찾기 위하여 Toeplitz 구조가 아닌  $G^{(N)}(R_{k-1})$ 을  $G^{(T)}$  매핑하면  $G^{(T)}G^{(N)}(R_{k-1})$ 가 된다. 그러나,  $G^{(T)}$ 로 인하여 rank  $N$  특성이 파괴되므로  $G^{(T)}G^{(N)}(R_{k-1})$ 은 이상적인 rank  $N$  특성을 갖지 못한다. 그러므로 결국 행렬 특성에 수렴할 때까지 위의 두 과정을 몇 차례 반복하여 허용오차 범위안에 접근할 때까지 연산을 계속한다.

## V. 시뮬레이션 결과

본 논문에서 제안된 신호 부각법과 결합된 선형 예측방법의 우수한 성능을 보여 주기 위하여 알고리즘의 통계적 성능을 선형 예측방법과 비교 분석하였다.

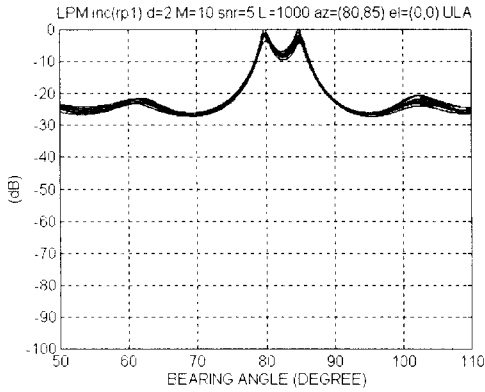
10개의 센서로 구성된 등간격 선형 어레이를 사용하였고 각 센서들간의 간격은  $0.5\lambda$ 로 하였다. 입사신호의 중심주파수는 정규화된 0.25를 사용하였고 양각은  $0^\circ$ 로 가정하였다. 식 (1)을 이용하여 스냅샷 데이터를 생성하였으며 제안된 신호부각 선형 예측방법과 선형예측방법을 시뮬레이션하였다. 신호 부각 접근법의 반복시행은 4회로 하였다.

입사신호는 복소정현파 신호와 평균이 '0'이고, 분산이 '1'인 부가성 백색의 정규분포를 갖는 랜덤 잡음이 더해진 형태이다. 공간스펙트럼을 보여주기 위하여 두 개의 인코히어런트 신호가  $80^\circ$ 와  $85^\circ$ 로 입사한다고 가정하여 10번 독립시행을 하였으며 최대값을 0dB로 정규화하였다. 통계적 성능분석은 두 개의 인코히어런트 신호가  $80^\circ$ 와  $90^\circ$ 로 입사한다고 가정하여 100번의 독립시행을 거쳐 신호대 잡음비에 따른 도래각 추정값을 분석하였고 스냅샷 갯수는 각 독립시행에서 1,000개를 사용하였다.

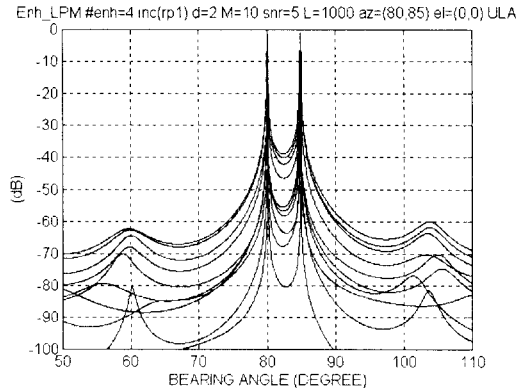
신호부각 접근법은 센서의 수가 적거나 스냅샷의 수가 적을 경우 약간의 바이어스가 발생하였으며 잡음이 없을 경우에  $0.125^\circ$  정도의 바이어스가 발생하였다. 통계적 성능 분석시 잡음 없는 경우의 시뮬레이션 결과를 참값으로 하여 통계적 성능을 나타내었습니다.

그림 3과 그림 4는 각각 신호대 잡음비가 5dB와 0dB일 때의 기존 선형 예측방법과 신호 부각 선형예측방법의 스펙트럼을 그림으로 표시하였다. 그림 3으로부터 5dB일 때 두 방법 모두 두 신호를 분리추정하였으나 그림 4로부터 더 낮은 신호대 잡음비인 0dB에선 기존 선형 예측방법은 두 신호를 분리 추정하지 못하였으나 신호부각 선형 예측방법은 분리 추정하는 것을 알 수 있다.

그림 5는 입사파의 사이각이  $10^\circ$ 일 때 입사각  $80^\circ$ 일 때의 두 가지 방법을 신호대 잡음비에 따른



(a)



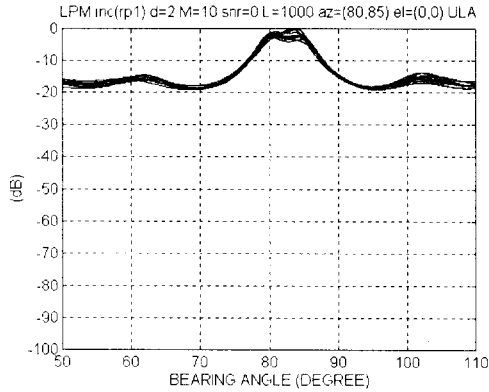
(b)

그림 3. 신호대 잡음비 5 dB에서 두 인코히어런트 신호의 도래각 추정 스펙트럼

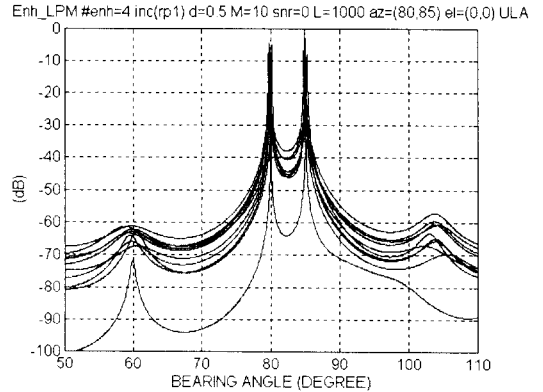
(a) 기존 선형예측방법, (b) 신호부각법과 결합된 선형예측방법

Fig. 3. Spectrum of Direction-of-Arrival estimation for two incoherent signals at SNR of 5 dB.

(a) Linear Prediction Method, (b) Linear Prediction Method with Signal Enhancement.



(a)



(b)

그림 4. 신호대 잡음비 0 dB에서 두 인코히어런트 신호의 도래각 추정 스펙트럼

(a) 기존 선형예측방법, (b) 신호부각법과 결합된 선형예측방법

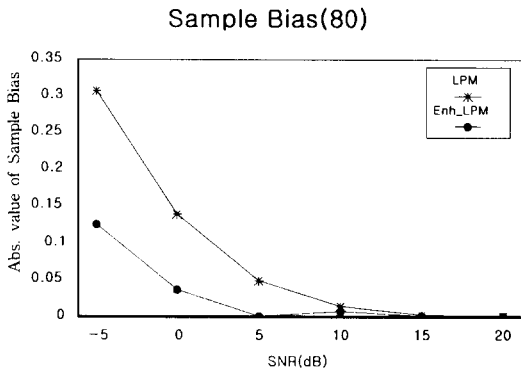
Fig. 4. Spectrum of Direction-of-Arrival estimation for two incoherent signals at SNR of 0 dB.

(a) Linear Prediction Method, (b) Linear Prediction Method with Signal Enhancement.

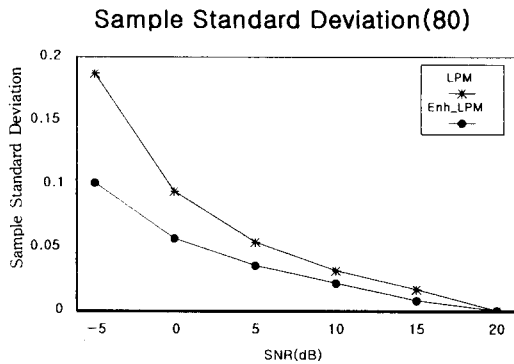
표본바이어스, 표본표준편차, 평균제곱오차의 3가지 통계적 성능 분석 척도를 나타내었다. 그림 5로부터 제안된 신호부각 선형예측방법이 기존 선형예측방법보다 월등한 통계적 성능을 제공함을 알 수 있다.

## VI. 결 론

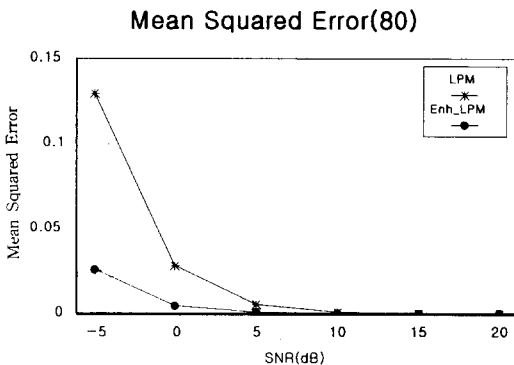
등간격 선형 어레이에 입사하는 인코히어런트 신호의 도래각 추정에 신호 부각법과 결합된 선형



(a)



(b)



(c)

그림 5. 두 인코히어런트 신호 입사시 신호대 잡음비에 따른 성능비교(80°). (a) 표본바이어스, (b) 표본표준편차, (c) 평균제곱오차

Fig. 5. Comparative performance for two incoherent signals with SNR at 80°. (a) Sample Bias, (b) Sample Standard Deviation, (c) Mean Squared Error.

예측방법을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 센서의 개수나 스냅샷의 개수가 적을 때 약간의 바이어스가 생기는 단점이 있지만 이것을 보정해 주었을 경우에 낮은 신호대 잡음비에서도 정확하게 도래각을 분리추정하는 고분해능 특성을 보여줄 뿐만 아니라 표본바이어스, 표본표준편차와 평균제곱오차면에서도 월등한 성능을 보여주는 것을 알 수 있었다. 기본적인 바이어스를 제거하는 방법과 선형 어레이가 아닌 일반적인 어레이도 적용할 수 있는 신호부각법을 개발하기 위한 연구가 현재 진행 중이다.

참고 문헌

- [1] D. H. Johnson, "The Application of Spectral Estimation Methods to Bearing Estimation Problems," *Proc. IEEE*, vol. 70, pp. 1018-1028, September, 1982.
- [2] J. Makhoul, "Linear prediction: A tutorial review," *Proc. IEEE*, vol. 63, pp. 561-580, 1975.
- [3] Y. S. Kim and J. A. Cadzow, "Multiple Source Direction Finding: A Signal Enhancement Approach," Academic Press, *Digital Signal Processing : A Review Journal*, vol. 8, no. 2, pp. 82-94, April, 1998.
- [4] J. A. Cadzow, "Signal Enhancement - A Composite Property Mapping Algorithm," *IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing*, vol. 36, no. 1, pp. 49-62, January, 1988.
- [5] S. S. Soliman, M. D. Srinath, *Continuous and Discrete Signals and Systems*, New Jersey: Prentice-Hall, 1990.
- [6] G. H. Golub and C. F. Van Loan, *Matrix Computations*, Johns Hopkins Univ. Press, Baltimore, 1983.



오 효 성



1986년 2월: 경희대학교 전자공학과(공학사)  
1990년 2월: 한양대학교 전자공학과(공학석사)  
1999년 8월~현재: 아주대학교 전자공학과(공학박사)  
1986년~현재: LG정밀 책임연구원

[주 관심분야] 수중음향 신호처리, 방향탐지

이 성 윤



1998년 2월: 경희대학교 전파공학과(공학사)  
1998년 3월~현재: 경희대학교 전파공학과 석사과정  
[주 관심분야] 어레이신호처리, 스펙트럼 추정, 통신 신호처리 등

고 정 태

1978년: 한양대학교 전자공학과(공학사)  
1985년: 한양대학교 전자공학과(공학석사)  
1996년: Pacific Western University 전기공학과(공학박사)  
1981년~1991년: 금성전기(주) 연구소 선임연구원  
1991년~현재: LG 정밀(주) 연구소 책임연구원  
[주 관심분야] 수중음향 신호처리, 방향탐지 등

김 용 득

1971년: 연세대학교 전자공학과(공학사)  
1973년: 연세대학교 대학원(공학석사)  
1978년: 연세대학교 대학원(공학박사)  
1973년~1974년: 프랑스 ESE연구원  
1978년~1980년: 미국 Stanford대학교 연구교수 재직  
1978년~현재: 아주대학교 전자공학과 교수  
[주 관심분야] 디지털 시스템에 관련된 하드웨어 응용. 특히 FA, OA 네트워크 응용과 접속방안, 멀티미디어 시스템 구축과 화상전송방식, ISDN망 접속, Sonar 신호처리

김 영 수



1981년 2월: 연세대학교 전자공학과(공학사)  
1983년 2월: 연세대학교 대학원 전자공학과(공학석사)  
1988년 12월: Arizona State University 전기공학과(공학박사)  
1985년 5월~1986년 5월: Consultant, Signal-System Technology Inc., U. S. A.  
1986년 6월~1988년 12월: Research Associate, Arizona State University.  
1989년 3월~1992년 8월: ETRI 전파기술부 전파응용연구실 실장  
1992년 9월~1996년 8월: 경희대학교 전파공학과 조교수  
1996년 9월~현재: 경희대학교 전자정보학부 부교수  
[주 관심분야] 어레이신호처리, 이동통신, 스펙트럼 추정, 적응필터 등