

## 목표물 추정 향상을 위한 수정 선형 예측방법에 대한 연구

이 관 형\*, 주 종 혁\*\*

### A Study on Modified Linear Prediction Method to Improve Target Estimation

Kwan-Hyeong Lee\*, Jong-Hyuk Joo\*\*

**요 약** 본 연구에서는 수정 선형예측방법으로 목표물의 신호를 정확히 추정하는 방법에 대해서 연구하였다. 선형예측방법은 임의의 안테나 배열소자를 다른 소자들과 선형 결합하여 도래방향 신호를 추정하는 방법이다. 수정 선형예측방법은 최적 가중치와 사후확률방법을 사용하였다. 모의실험을 이용하여 본 연구에서 제안한 방법과 Bartlett 및 MUSIC방법의 성능을 비교 분석하였다. 모의실험조건은 안테나 배열 소자 9개, 목표물 신호 4개[-5o, 0o, 5o, 10o]에서 방향을 추정한다. 모의실험에서 Bartlett과 MUSIC방법은 목표물 신호를 3개만 추정하였고, 본 연구에서 제안한 방법은 목표물 신호 4개를 모두 추정하였다. 본 연구에서 제안한 방법이 기존의 Bartlett 과 MUSIC방법보다 분해능이 우수함을 나타내었다.

**Abstract** In this paper, we studied a modified linear prediction method to estimate target signal correctly. Linear prediction method estimate direction-of-arrival to linear combination for any antenna element and other antenna elements. Modified linear prediction used optimal weight and posterior probability method. Through simulation, we are comparative analysis about the performance of proposed, bartlett and MUSIC method. From simulation, Bartlett and MUSIC method was estimation 3 targets signal, and proposed method estimated 4 targets. We showed the superior performance of the proposed algorithm relative to the classical method in order to estimate of target signals.

**Key Words** : Linear Prediction, DoA, Posterior Probability, Array antenna, MUSIC

#### 1. 서론

무선 시스템의 수신측에서 송신 신호를 정확히 예측하는 방법에 대해서 다양하게 연구되었다. 수신시스템에 입사한 신호는 일반적으로 정보신호 이외에 상관성 간섭과 백색가우시안 잡음 등이 포함된다. 무선 시스템에서 정확한 정보신호를 추정하기 위해서 잡음과 상관성 간섭을 제거하는 기술이 절대적으로 필요하다. 지금까지, 잡음과 상관성 간섭을 제거하기 위해서 적응배열 안테나, 빔형성 기법 등 많은 방법과 방법이 연구되었다.[1,2]. 적

응배열안테나는 안테나의 배열 소자를 이용하여 안테나 방사패턴의 빔을 조향할 수 있다[3]. 본 연구에서는 적응배열 안테나를 적용하고 추정 도래 방향 방법은 선형예측(Linear Prediction)방법을 사용한다. 선형예측방법은 시간축상에서 사용된 자동회귀(Auto Regressive)방법을 공간축상에 적용한 것이다[4]. 적응 배열 안테나는 소자를 공간에 배치하여 방사패턴의 빔을 조정하여 지향성을 향상시킬 수 있다. 그리고 전기적 위상차를 이용하여 방사패턴의 빔을 다양한 각도로 변화시켜 특정한 방향으로 빔을 조절 할 수 있다. 위상 빔 지향 방

\* Division of Electrical and Electronic Engineering, Daejin University (khlee@daejin.ac.kr)

\*\* Corresponding Author : Department of industrial Engineering, Cheongju University (jonghyuk@cju.ac.kr)

Received July 28, 2016

Revised August 03, 2016

Accepted August 26, 2016

법으로 상관성 간섭과 잡음에 대해서 영점(null point)을 형성할 수 있고 부엽레벨을 조절 할 수 있다. 방사패턴의 빔 지향성을 항상 시키는 방법은 신호대잡음비와 배열 소자 수를 증가 하면 된다. 그러나 신호대잡음비와 배열 소자수의 증가는 비용이 많이 발생하여 시스템이 효율적이지 못하다. 그래서 추정 도래방향 방법이 일반적으로 많이 사용된다.

일반적으로 추정 도래방향 방법은 고유치 분해를 사용하는 방법과 사용하지 않는 방법으로 구분할 수 있다. 고유치 분해를 사용하는 방법은 MUSIC, Root-MUSIC, ESPRIT등이 있고, 고유치 분해를 사용하지 않는 방법은 Bartlett, Capon, Linear Prediction방법 등이 있다[5-7]. 고유치 분해를 사용하는 방법은 분해능이 우수하지만 계산이 복잡한 단점이 있고, 고유치 분해를 사용하지 않는 방법은 분해능이 저하되지만 고유치 분해를 사용하는 방법보다 계산양이 감소한다.

본 논문에서는 고유치 분해를 사용하지 않으면서 분해능을 향상시키기 위한 방법에 대해서 연구한다. 선형예측방법을 사용하여 복잡한 계산을 감소시키고 분해능을 증가시키기 위해서 최적 가중치 갱신과 사후확률 방법을 사용한다.

모의실험을 통해서 본 논문에서 제안된 추정 도래방향 방법의 성능을 확인하기 위해서 기존의 추정 도래방향 방법과 비교 분석한다. 기존 추정도래방향 방법은 MUSIC과 Bartlett방법을 사용하며 본 연구에서의 Bartlett방법은 가중치 갱신과 사후확률 방법을 적용한 형태를 나타낸다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 수신 신호 시스템 분석에 대해서 서술하고, 3장에서는 사후확률추정도래방향 방법을 연구한다. 4장에서는 모의실험을 이용하여 본 연구에서 제안한 방법과 기존 방법의 추정 도래방향 성능을 비교 분석하고 5장에서는 결론을 맺는다.

## 2. 수신 신호 시스템 분석

### 2.1 신호 모델링

그림1은 균일 선형 배열 안테나시스템으로서 안테나 배열 소자  $N$ 개, 배열 소자 거리  $d$ 이다. 그림1의 수신 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$x(t) = A \exp[j(2\pi ft + \theta)] + n(t) \quad (1)$$

여기서  $A$ 는 진폭,  $\theta$ 는 방위각,  $t$ 는 시간,  $f$ 는 주파수,  $n(t)$ 는 백색가우스 잡음이다.

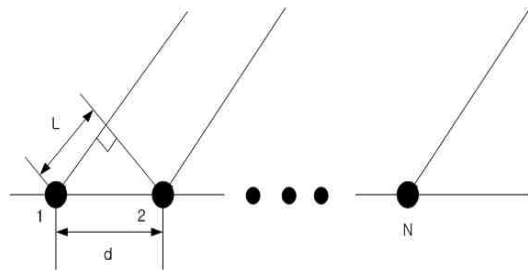


그림 1. 균일 선형 배열 안테나 시스템  
Fig. 1. Uniform linear array antenna system

근접한 배열 안테나 소자의 출력신호는 거리에 따라서 지연시간( $\tau$ )이 발생한다. 배열 안테나 소자의 지연시간은 다음과 같이 나타낼 수 있다[8].

$$\tau = L/c \quad (2)$$

$$L = d \sin \theta \quad (3)$$

여기서  $c$ 는 전파속도이다, 기준 배열 안테나 소자에서  $m$ 번 배열 소자 출력의 지연시간은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tau_m = (m - 1) (d/c) \sin \theta \quad (4)$$

$m$ 번째 배열 안테나의 소자의 순시값은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$x_m(t) = x(t + \tau_m) = A \exp[j(\omega(t + \tau_m) + \theta)] + n(t) \quad (5)$$

여기서,  $\omega = 2\pi f$ 이다.  $k$ 개의 협대역 신호가 배열 안테나 소자에 입사한다면  $m$ 번째 배열 소자의 출력은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$x_m(t) = \sum_{k=1}^P A_k \exp[j(\omega(t + \tau_m) + \theta_k)] + n_m(t) \quad (6)$$

여기서  $1 \leq k \leq P, 1 \leq m \leq N$ . 식(6)의 행렬형태를 표현하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$x(t) = A S(t) + N(t) \quad (7)$$

여기서  $S(t)$ 는 신호와 배열응답(array response)을 나타낸다.

### 3. 선형예측 방법 (Linear Prediction)

그림2는 시간축상에서 많이 사용되는 선형예측 방법의 시스템을 나타낸다.

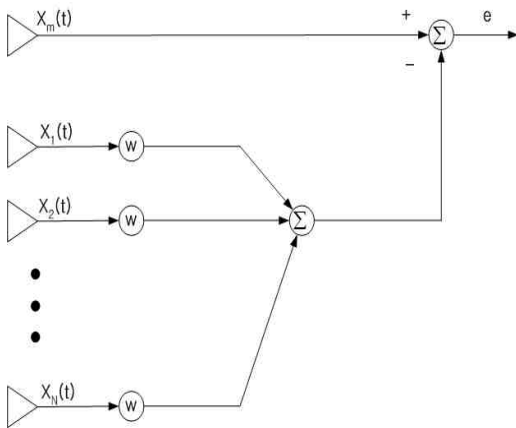


그림 2. 선형예측방법 시스템  
Fig. 2. Linear prediction method system

그림 2에서  $w$ 는 가중치,  $x(t)$ 는 각각의 배열 소자 수신호를 나타낸다. 선형예측 방법은  $m$ 번째 배열안테나 소자를 다른 배열 소자들의 출력과 가중 선형 결합하여  $m$ 번째 출력은 다음과 같이 나타낼 수 있다[9].

$$x_m(t) = - \sum_{m=1}^N w_m x_m(t) \quad (8)$$

가중치 계수는  $w_m = 1$ 을 만족하면서 평균 자승 추정오차를 최소화 하여야 하므로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$e = E[|e(t)|^2] = E\left[\left|x_m(t) + \sum_{m=1}^N w_m x_m(t)\right|^2\right] \quad (9)$$

식(9)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$e = E[|w^H x(t)|^2] = w^H R w \quad (10)$$

여기서  $R$ 은 상관행렬,  $(\ )^H$ 는 에르미트(Hermit)행렬이다.  $m$ 번째 배열 소자만 1이고 다른 배열 소자는 0으로 구성되는 벡터를 구성하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$u_m = [0 \cdots 1 0 \cdots 0]^T \quad (11)$$

$w_m = 1$ 을 항상 만족하는 제한 조건은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$w^H u_m = 1 \quad (12)$$

선형예측 방법의 출력 에너지는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P = \frac{w^H R w}{|w^H e(\theta)|^2} \quad (13)$$

식(13)에서 가중치는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$w = R_c R^{-1} \quad (14)$$

여기서  $R_c = E[x(t)e^H(t)]$ 이다. 식(13)에 대한 출력 에너지 스펙트럼은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{LP}(\theta) = \frac{u_m^T R^{-1} u_m}{|u_m^T R^{-1} e(\theta)|^2} \quad (15)$$

식(10)에서 최적 가중치는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$w = R C (C^H R^{-1} C)^{-1} f \quad (16)$$

여기서, C는 구속장(constant length)의 계수이고, f는 가중치의 각주파수를 나타낸다.

#### 4. 사후확률추정도래방향

본 장에서는 사후확률검출방법을 이용하여 목표물의 방향을 추정하고자 한다. 수신시스템에서  $m$  번째 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다[10].

$$x(t) = \sum_{k=1}^P B_k e^{(j2\pi f_k m \tau_k + \theta_k)} + N(t_m) \quad (17)$$

여기서 잡음은 평균이 0이고 분산이  $\sigma^2$ 인 복소 가우스분포로 가정한다. 목표물 도래방향 추정 신호의 우도함수(Likelihood function)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$p(\theta) = \prod_{k=1}^P \prod_{m=1}^N \frac{1}{\sigma^2 \pi} e^{-\frac{1}{\sigma^2} |x_m(t_k) - q|^2} \quad (18)$$

$$q = \sum_{k=1}^P B_k e^{(j2\pi f_k m \tau_k + \theta_k)} \quad (19)$$

베이시안 이론(Bayesian theory)을 사용한 사후 밀도 함수(posterior density function)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$p(\theta) = \frac{p(X|\theta)p(\theta)}{p(X)} \quad (20)$$

$p(X)$ 는 상수, 목표물의 방향을 추정하기 위해서 사후 확률 분포는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$p(\theta) = \int p(\theta|X) d\theta + \sum_{m=1}^N \sum_{k=1}^P |x_m(t_k)| \quad (21)$$

또한, 사후 확률 밀도함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$p(\theta|X) = p(\theta|X) + \sum_{m=1}^N \sum_{k=1}^P |x_m(t_k)| \quad (22)$$

목표물의 추정 도래방향은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\theta = \arg \max_{\theta} p(\theta|X) \quad (23)$$

#### 5. 모의실험

본 장에서는 모의실험으로 기존 방법 과 본 논문에서 제안한 방법의 성능을 비교 분석한다. 기존의 방법은 Bartlett과 MUSIC방법을 사용하였다. Bartlett 방법은 본 연구에서 제안한 가중치 갱신과 사후확률추정방법을 적용하였다. MUSIC방법은 본 연구에서 제안한 가중치 갱신과 사후확률추정방법을 적용하지 않은 고유치 전개 및 고유치 분해를 사용하였다.

수신시스템은 선형 배열 안테나를 사용하였으며

안테나 배열 소자의 간격은 반 파장, 신호대잡음비는 20dB, 배열 안테나 소자는 9개, 스냅샷은 150회이며 4개[-5o, 0o, 5o, 10o]의 목표물 신호를 추정한다.

그림3은 Bartlett 방법에 의한 가중치 갱신  $w = a(\theta) / \sqrt{a^H(\theta)a(\theta)}$  과 사후확률 방법  $P(\theta) = a^H(\theta)Ra(\theta) / a^H(\theta)a(\theta)$ 을 적용하여 목표물의 방향을 추정한 그래프이다.

그림 3의 Bartlett방법은 목표물 신호 3개만을 추정하여 1개의 추정 신호 오차가 발생한 것을 알 수 있다. 목표물 신호 4개[-5o, 0o, 5o, 10o]중 3개 [-5o, 5o, 10o]만 추정하여 [0o]에서 목표물을 소실하였다.

그림 4는 MUSIC 방법을 사용하여 목표물을 추정한 그래프이다. 목표물 신호 4개[-5o, 0o, 5o, 10o]중 3개[-5o, 5o, 10o]만 추정하여 [0o]에서 목표물을 소실하였다. MUSIC방법도 Bartlett방법과 같이 목표물 신호 3개만 추정하여 1개의 추정 신호 오차가 발생한 것을 알 수 있다.

그림 5는 본 논문에서 식(15)와 식(22)를 이용하여 제안한 가중치 갱신과 사후확률 추정방법을 선형예측방법에 적용하여 목표물을 추정한 그래프이다. 목표물 신호 4개[-5o, 0o, 5o, 10o]를 모두 추정하여 본 연구에서 제안한 방법이 기존방법보다 목표물의 분해능 성능이 향상된 것을 알 수 있다

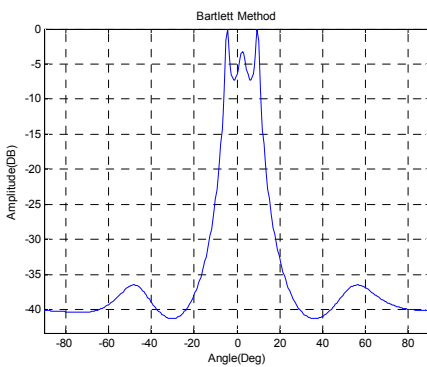


그림 3. Bartlett 방법 신호 추정  
Fig.3. Desired signal estimation of Bartlett Method

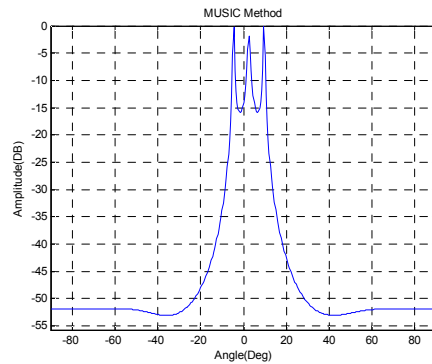


그림 4. MUSIC 방법 신호 추정  
Fig. 4. Desired signal estimation of MUSIC Method

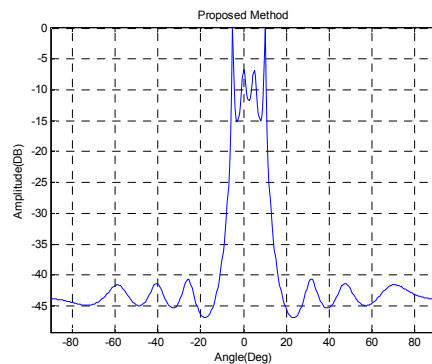


그림 5. 제안된 방법 신호 추정  
Fig. 5. Desired signal estimation of Proposed Algorithm

## 6. 결론

본 연구에서는 목표물의 방향을 추정하기 위해 최적가중치를 획득하고 선형예측방법에 적용하여 기존의 방법과 성능을 비교분석하였다. 일반적인 추정 도래방향 선형예측방법은 가중치를 일정하게 설정하여 목표물의 방향을 추정하지만, 본 연구에서는 최적 가중치를 적용하여 목표물의 추정 방향 성능을 향상시켰다.

본 연구에서 제안한 추정 도래 방향은 선형예측방법의 가중치를 일정한 값으로 설정 하지 않고 최적 가중치를 갱신하여 목표물의 신호를 추정한다. 안테나 배열 소자가 9개일 때 기존 Bartlett방법과 MUSIC 방법은 목표물 추정 도래방향 신호를 3개만 추정하였다. 4개의 목표물을 정확히 추정

하지 못하여 추정 도래방향 분해능 성능이 저하된 것을 알 수 있다. 본 연구에서 제안한 방법은 4개의 목표물을 정확히 추정하여 Bartlett과 MUSIC 방법보다 분해능이 향상되었음을 입증하였다.

REFERENCES

[1] I.J.Gupta, J.A.Ulrey, and E.H.Newman, "Antenna element bandwidth and adaptive array performance". IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, Vol.1B, pp.295-298, July, 2005

[2] R.A.Speciale, "Advanced design of phased-array beam-forming networks", Vol.39, No.4, pp.22-34, Aug, 1996.

[3] M.Wennstrom, T.Oberg,, and A.Rydberg, "Effects of finite weight resolution and calibration errors on the performance of adaptive array antennas", IEEE Trans on Aerospace and Electronic Systems, Vol.37, No.2, Apr, pp.549-562, 2001

[4] S.Rao and W.A.Pearlman, "Analysis of linear prediction, coding ,and spectral estimation from subbands", IEEE Trans on Information Theory, Vol.42, No.4, pp.1160-1178, Jul, 1996.

[5] R.O.Schmidt, "Multipath Emitter location and signal parameter estimation", IEEE Trans on Antenna and Propagation, Vol. 34, No.3, pp.276-280, Mar 1986.

[6] N.Le Bihan, S.Miron, and J.I.Mars, "MUSIC Algorithm for Vector-sensors Array using Biquaternions", IEEE Trans on signal Processing, Vol.55, No.9, PP.4523-4533, Sep, 2007

[7] M.C.Bartlett, L.W.Couch, and R.C.Johnson, "Ambiguity function simulator", IEEE proceeding , Vol.63, No.11, pp.1625-1627, Nov, 1975.

[8] P.Maragos, R.Schafer, and R.Mersereau,

"Two- dimensional linear prediction and its application to adaptive predictive coding of images", IEEE TRans on Acoustics, speech, and signal processing, Vol.32, No.6, pp.1213-1229, Dec, 1984.

[9] B. Allen and M. Ghavarrri, "Adaptive Array System", Wiley, Feb, 2005.

[10] R.M.Gray and A. Macovski, "Maximum a Posteriori Estimaion of Position in scintillation cameras", IEEE Trans on Nuclear Science, Vol.23, No.1, pp.849-852, Feb 1976.

저자약력

이 관 형(Kwan-Hyeong Lee) [정회원]



- 2005년 3월 ~ 2007년 2월 : 청주대학교 전자정보공학부 전임 강사
- 2007년 3월 ~ 2010년 2월 : 국방과학연구소 근무
- 2010년 3월 ~ 현재 : 대전대학교 전기전자통신공학부 교수

<관심분야> 무선통신, 위치추적

주 종 혁(Jong-Hyuk Joo) [정회원]



- 1989년 2월: 서울대학교 산업공학과 공학사
  - 1991년 2월 : 서울대학교 산업공학과 공학석사
  - 1994년 8월 : 서울대학교 산공학과 공학박사
  - 1995년 3월 ~ 현재 : 청주대학교 산업공학과 교수
- 시스템최적화, 물류정보시스템, 유비쿼터스 컴퓨팅

<관심분야>