

# 가중치 갱신의 수정 Bartlett 방법을 이용한 목표물 신호 추정

이 관 형\*, 주 종 혁\*\*

## Signal Estimation of Target Using Modified Bartlett Method of Weight Updating

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

**요약** 본 논문에서는 원하는 정보 신호를 추정하기 위해서 수정 Bartlett방법에 대해서 연구하였다. Bartlett방법은 구속 장을 1로 설정하고, 시간지연을 보상하여 원하는 정보 신호를 추정하는 방법이다. 수정 Bartlett방법은 최적 가중치 갱신을 지연시간 보상에 적용하여 최적의 도래방향 신호를 추정하는 방법이다. 최적가중치는 선형구속최소분산 방법을 사용하였다. 모의실험을 이용하여 본 연구에서 제안한 방법과 기존 Bartlett 과 MUSIC방법의 성능을 비교 분석한다. 모의실험조건은 배열 안테나 소자 수 6개와 9개, 원하는 정보신호 3개[-15o, 0o, 15o]에서 원하는 신호를 추정한다. 원하는 정보 신호 추정에서 본 연구에서 제안한 방법이 기존의 Bartlett 과 MUSIC방법보다 분해능이 우수함을 입증하였다.

**Abstract** In this paper, we studied for modified bartlett method to estimate desired information signal. Constrained length of bartlett method is assigned as one, and estimate desired information signal to compensate for delay time. Modified bartlett method is an optimum direction-of-arrival (DoA) estimation algorithm to apply delay time compensation to update optimum weight. The optimum weight is used linear constrained minimum variance method(LCMV). Through simulation, we are comparative analysis proposed algorithm and general Bartlett and MUSIC method. In desired signal estimation, condition simulation is an array antenna element numbers 6 or 9 and desired information signals number 3. We show the superior performance of the proposed algorithm relative to the existing method in estimation of desired information signal.

**Key Words** : LCMV, Time delay compensation, Bartlett, Updating Weight Array antenna

### 1. 서론

무선 통신 환경에서 원하는 정보 신호를 추정하는 방법에 대해서 지금까지 많은 연구가 진행되어 왔다. 일반적인 무선 통신 시스템에서 송신한 신호는 수신기에서 원하는 정보 신호이외에 간섭 과 잡음이 포함된 신호가 입사한다. 무선 통신 시스템에서 다중 경로로 인하여 간섭 과 잡음이 수신 신호에 포함되면 원하는 정보 신호를 정확히 추정하는 것이 어렵다. 간섭과 잡음을 제거하여 원하는

신호를 추정하기 위한 방법으로는 스마트 안테나, 적응배열 안테나 , 빔 형성 방법, 도래 방향 추정 방법 등 여러 방법이 연구 진행되고 있다[1,2].

본 연구에서는 도래 방향 추정 방법과 배열 안테나를 이용하여 원하는 신호를 추정하고자 한다. 배열 안테나는 배열 소자를 나열하여 빔의 이득을 조정하여 지향성을 증가시킬 수 있다. 또한 전기적인 길이차를 이용하여 위상을 여러 각도로 천이시켜 원하는 방향으로 빔을 지향하고 간섭 및 잡음

\* 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 17, 2016

Accepted August 26, 2016

에 대해서는 영점을 형성 할 수 있다[1]. 배열 안테나의 소자를 증가하면 개구 면이 증가하여 원하는 신호의 성분을 추정하는 것 향상된다. 그러나 비용과 크기 등으로 인하여 안테나 배열 소자를 증가시키는 것은 효율적이지 못하다. 최적의 안테나 배열 소자를 배열하여 원하는 신호를 추정하는 것이 도래 방향 신호 추정의 목적이다.

도래 방향 추정 방법은 고유치 전개 및 고유치 분해를 사용하는 방법과 사용하지 않는 방법으로 분류할 수 있다. 고유치 전개 및 고유치 분해를 사용하는 방법은 MUSIC과 ESPRIT이 있으며 이들 방법은 고유치 전개를 시행하지 않는 방법보다 목표물 추정 정확성이 향상된다. 그러나 단점은 계산량의 복잡성으로 처리시간이 증가하는 문제점이 있다[3-5].

Bartlett 및 Capon 방법은 고유치 전개 및 고유치 분해를 시행하지 않기 때문에 계산량의 복잡성이 감소한다. 그러나 단점은 고유치 전개를 시행하는 방법보다 목표물 추정이 감소한다[6-8].

본 논문에서는 수신신호 계산의 양을 감소시키고 목표물의 정확한 위치를 추정하기 위해서 가중치 갱신을 적용한 수정 Bartlett 방법을 제안한다. Bartlett 방법이 처리 시간이 감소하는 이유는 수신신호에 대해서 고유치 전개 및 고유치 분해를 시행하지 않기 때문이다. Bartlett 방법의 단점은 처리시간은 빠르지만 분해능 성능이 MUSIC 방법보다 저하된다[9]. Bartlett 방법의 분해능을 향상시키기 위해서 가중치 갱신방법을 Bartlett 방법에 적용하여 분해능을 향상 시키고 원하는 신호의 방향을 추정하고자 한다.

본 논문에서 제안한 방법을 이용하여 수신 신호의 방향 추정 오차를 경감시켜 원하는 신호의 정확한 도래 방향을 추정한다. 모의실험을 이용하여 본 연구에서 제시한 방법의 성능을 분석한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 신호 모델링 및 Bartlett 방법에 대해서 서술하고, 3장에서는 가중치 갱신 방법을 제시하고, 4장에서는 도래방향 추정 제안 방법을 제시하였다. 5장에서는 모의실험을 이용하여 본 연구에서 제안한 방법과

기존 방법의 성능을 비교 분석하고 6장에서는 결론을 맺는다.

## 2. 신호 모델링 및 Bartlett 방법

$M$ 개의 소자로 배열된 등 간격 선형 배열 안테나 의 입사 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다 [10,11].

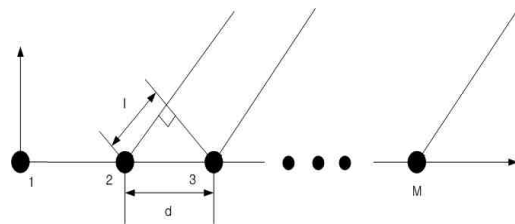


그림 1. 선형 배열 안테나 의 수신 시스템  
Fig. 1. Receive system of linear array antenna

$$s(t) = Ae^{j(\omega_0 t + \theta)} + n(t) \tag{1}$$

여기서  $A$ 은 신호크기,  $\omega_0 = 2\pi f_0$ ,  $\theta$ 은 위상,  $f_0$ 은 주파수,  $n(t)$ 잡음이다. 인접한 배열 소자 사이의 출력신호는 시간지연( $\tau_m$ )이 발생한다. 배열 소자  $m$ 번째 시간 지연은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tau_m = (m - 1) (d/c) \sin\theta_0 \tag{2}$$

여기서  $\tau_0$ 은 기준 배열 소자의 시간 지연,  $1 \leq m \leq M$ 이다.  $P$ 개의 협 대역 신호가 수신 안테나에 입사할 때  $m$ 번째 배열 소자의 수신 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다[12-14].

$$\begin{aligned} x_m(t) &= \sum_{k=1}^P s(t + \tau_m) + n_m(t) \\ &= A \sum_{k=1}^P \exp[-j\omega_0(d/c)(m-1)\sin\theta_k] + n_m(t) \end{aligned} \tag{3}$$

여기서,  $d$ 은 배열 안테나 소자간의 거리,  $c$ 은 전파속도,  $1 \leq k \leq P$ 이다. Bartlett 방법은 일반적인 빔 형성 방법 중의 하나이다. Bartlett 방법은 신호 대 잡음비를 최대로 하여 출력 신호 피크가 가장 큰 신호를 선택하는 방법이다. Bartlett 방법은 배열 안테나에 입사하는 신호를 시간 지연시키고 가중치를 곱하여 출력 신호를 나타낸다. Bartlett 시스템의 출력 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y(t) = \sum_{m=1}^M w_m x_m(t + \tau_m) \quad (4)$$

여기서  $w$ 은 가중치이다.  $m$ 번째 배열 소자의 지연 시간을 보상한 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$x_m(t) = \sum_{k=1}^P s_k(t) e^{j\omega_o(\tau_m - \tau_{k,m})} + n_m(t - \tau_m) \quad (5)$$

$$\tau_{k,m} = (m-1)(d/c)\sin\theta_k \quad (6)$$

식(4)의 빔 형성기 출력신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y(t) = \sum_{m=1}^M w_m \left[ \sum_{k=1}^P s_k(t) e^{j\omega_o(\tau_m - \tau_{k,m})} + \sum_{k=1}^P n_m(t + \tau_m) \right] \quad (7)$$

시간 지연 보상이  $\tau_m$  과  $\tau_{k,m}$  이 일치할 경우에는 식(7)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y(t) = \sum_{m=1}^M w_m s_{k_o}(t) \sum_{m=1}^M w_m \left[ \sum_{k=1}^P s_k(t) e^{j\omega_o(\tau_m - \tau_{k,m})} + \sum_{k=1}^P n_m(t + \tau_m) \right] \quad (8)$$

지연 시간이 보상된 빔 형성기의 신호 대 잡음비는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$SNR_{out} = M \frac{E[s_k(t)^2]}{\sigma^2} \quad (9)$$

### 3. 가중치 갱신

식(4)을 행렬식으로 나타내면 다음과 같이 나타낼 수 있다[9].

$$y(t) = G^H X(t) \quad (10)$$

$$G = [w_1^*, w_1^* e^{-j\omega_o\tau}, \dots, w_m^* e^{-j\omega_o(M-1)\tau}]^T \quad (11)$$

여기서  $( )^H$ 은 에르미트행렬(hermitian),  $( )^*$ 은 복소공액,  $( )^T$ 은 전치행렬,  $w$ 은 가중치를 나타낸다. 빔 형성기의 출력 전력은 다음과 같이 나타낸다.

$$P = E[|y(t)|^2] = G^H R G \quad (12)$$

Bartlett 빔 형성기의 출력 스펙트럼은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{\bar{t}} = G^H(\theta) R G(\theta) \quad (13)$$

식(10)에서 Bartlett 방법은 가중치를 1로 설정하여 원하는 방향을 추정하는 방법이다. 배열 안테

나 소자에 균일하게 가중치를 1로 설정하면 각도 분해능이 저하된다. 분해능을 향상시키기 위해서 선형구속최소분산 방법으로 최적의 가중치를 계산한다. 배열 안테나의 출력 공분산 행렬은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R = W^H E[x(t)x^H(t)] \quad (14)$$

$$= W^H R_{xx} W$$

$R_{xx}$ 은 신호 상관 행렬로서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{xx} = E[s(t)s^H(t)] \quad (15)$$

원하는 신호 방향의 수신 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$W^H x(\theta) = G \quad (16)$$

#### 4. 도래방향 추정 제안 방법

수신 시스템이 도래하는 입사 신호에 간섭 신호가 존재할 때 간섭 신호를 제거한 수신 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$W^H x(\theta) = 0 \quad (17)$$

$$\begin{bmatrix} x(\theta) \\ 0 \end{bmatrix} W^H = \begin{bmatrix} G^* \\ 0 \end{bmatrix} \Rightarrow C^H W = f \quad (18)$$

수신 시스템의 빔 형성기 출력 전력은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E[|y(t)|^2] = W^H R W \quad (19)$$

식(19)에서 최적 가중치는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\theta = W^H R W + 2\lambda^H (C^H W - f) \quad (20)$$

$$W = R C (C^H R^{-1} C)^{-1} f \quad (21)$$

#### 5. 모의실험

본 장에서는 식(14)와 식(20)을 사용하여 원하는 목표물의 방향을 추정한다. 실험 방법은 모의실험을 통하여 기존 방법과 본 연구에서 제안한 방법의 성능을 비교 분석한다. 모의실험에 기존 방법은 기존 Bartlett과 MUSIC 방법을 사용하였다. 안테나는 선형 배열 안테나를 사용하였으며 배열 소자간의 간격은 반 파장, 신호 대 잡음비는 15dB, 안테나 배열 소자는 6개와 9개, 스캔 샷은 100회, 원하는 신호원의 수는 3개[-15°, 0°, 15°]로 설정하였다.

그림 2는 안테나 배열 소자가 6개일 때, Bartlett 방법을 이용하여 원하는 정보 신호를 추정한 그래프이다. 원하는 추정 정보 신호는 3개이지만 하나의 원하는 정보 신호만을 추정하여 오차가 발생한 것을 알 수 있다. 도래 방향 추정 성능이 현저히 감소한 것을 나타낸다.

그림 3은 안테나 배열 소자가 6개일 때, 본 논문에서 제안한 방법으로 원하는 정보 신호를 추정한 그래프이다. 3개의 원하는 정보 신호에서 두 개의 정보 신호를 추정하였다. 본 연구에서 제안한 방법이 기존 Bartlett 방법보다 분해능 성능이 향상되었지만 원하는 정보 신호를 모두 추정하지 못하였다. 그림 4와 그림 5는 안테나 배열 소자를 9개로 설정하여 모의실험을 실행하였다.

그림 4는 안테나 배열 소자가 9개일 때, MUSIC 방법을 이용하여 원하는 정보 신호를 추정한 그래프이다. 원하는 정보 신호 3개를 추정하였지만 출력 전력 세기가 미약하여 원하는 정보 신호를 정확히 추정할 것 이라고 나타낼 수 없다.

그림 5는 배열소자수가 9개일 때, Bartlett 방법에 최적 가중치를 갱신한 제안 방법으로 원하는 정보 신호를 추정한 그래프이다. 3 개의 원하는 정보 신호를 모두 추정하였다. 본 연구에서 제안한

방법이 기존 MUSIC 방법 보다 분해능 성능이 향상된 것을 나타내었다.

본 연구의 제안방법은 목표물의 도래방향을 추정할 때 수신기에 입사하는 신호에 대해서 고유치 전개와 고유치 분해를 시행하지 않기 때문에 계산량이 감소하여 연산 처리 속도가 기존의 방법보다 향상된다.

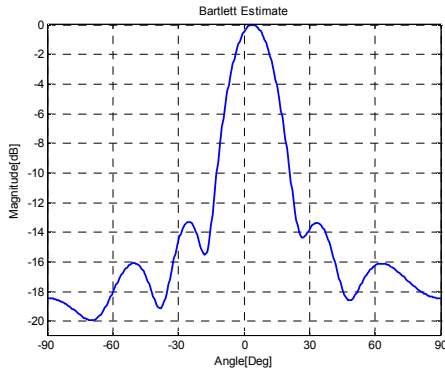


그림 2. Bartlett 방법 신호 추정(M=6)  
Fig. 2. Desired signal estimation of Bartlett Method (M=6)

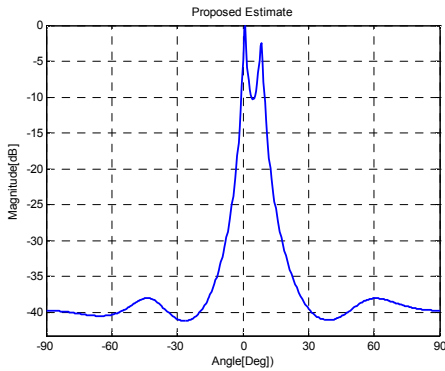


그림 3. Proposed 방법 신호 추정(M=6)  
Fig. 3. Desired signal estimation of Proposed Algorithm (M=6)

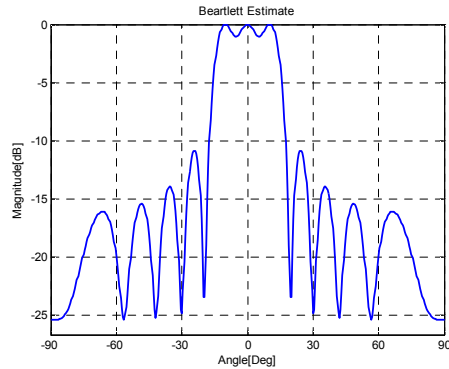


그림 4. MUSIC 방법 신호 추정(M=9)  
Fig. 4. Desired signal estimation of MUSIC Method (M=9)

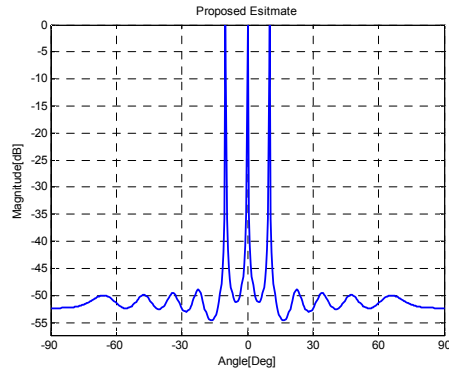


그림 5. Proposed 방법 신호 추정(M=9)  
Fig. 5. Desired signal estimation of Proposed Algorithm (M=9)

## 6. 결론

본 논문에서는 원하는 신호의 방향을 추정하기 위해서 선형구속분산방법으로 최적의 가중치를 갱신하고, 갱신된 가중치를 Bartlett 방법에 적용하여 도래방향 추정 신호를 향상시키는 방안에 대해서 연구하였다. 기존 Bartlett 방법은 구속 장을 1로 설정하여 가중치를 균일하게 설정한다. 가중치를 균일하게 설정하면 원하는 정보 신호의 추정 분해능이 저하되어 시스템성능이 감소된다.

본 연구에서 제안한 도래 방향 추정 방법은 Bartlett 방법의 가중치를 일정한 값으로 유지 하

지 않고 최적의 가중치를 획득하여 원하는 정보 신호를 추정한다. 안테나 배열 소자가 6개일 때 기존 Bartlett 방법인 경우에는 도래방향 추정 신호 분해능이 약 16° 이상을 나타내었다. 기존 MUSIC 방법은 안테나 배열 소자를 9개로 설정하였을 때 3개의 원하는 정보 신호를 모두 추정하였지만 신호의 세기가 크지 않아서 도래방향 신호를 소실될 가능성이 있다. 배열 안테나의 개구 면을 증가시키면 도래방향 추정 분해능이 향상되는 것을 알 수 있으며 본 연구에서 제안한 방법이 기존 Bartlett 과 MUSIC방법 보다 도래 방향 추정 분해능이 향상되었음을 나타내었다.

**REFERENCES**

[1] Lal Chand Godara. "Smart Antennas", CRC Press LLC, 2004

[2] Frank.G.Gross, "Smart Antenna for Wireless Communications", Mc Graw Hill, 2005.

[3] A.J.Weiss and MGavish, "Direction Finding using EFPRIT with Interpolated Arrays", IEEE Trans on Signal Processing, Vol. 39, No. 6, pp. 1473-1478, Jun, 1991.

[4] John Litva and Titus Kwok-Yeung Le, " Digital Beamforming in Wireless Communications" Artech House, 1996

[5] Yung Yi Wang , Jiunn-Tsai Chen, and Wen Hsien Fang, "TST-MUSIC for joint DOA-Delay Estimation", IEEE TRans on Signal Processing, Vol. 49, No. 4, pp. 721-729, Apr, 2001.

[6] B.Allen and AM.Ghavami, "Adaptive Array System", John Wiley & Sons, 2005,

[7] Ebtihal Haider Gismalla and Emad Alsusa, "On the performance of Energy Detection using Bartlett's Estimate for Spectrum Sensing in Cognitive Radio Systems", IEEE Trans on Signal Processing, Vol. 60, No. 7, pp. 3394-3404, Mar, 2012

[8] C.D.Richmond, "Capon Algorithm Mean-Squared

Error Threshold SNR Prediction and Probability of Resolution", IEEE Trans on Signal Processing, Vol. 53, No. 8, pp. 2748-2764, Aug, 2005

[9] 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.

[10] B. Allen and M. Ghavari, "Adaptive Array System", Wiley, Feb, 2005.

[11] Z.Ding , Wenwu Song, Chonghua, and Yang Xu,"Study on the Cosite intereerece Cancellation using AIC technique", Enviromental Electromagnetics, conference(CEEM), pp. 365-368, sept 2009.

[12] RM.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.

[13] Yung.Yi Wang, Jiunn.Tsair, and Wen.Hsien Fang, :TST-MUSIC for joint DOA-delay estimation", IEEE TRans on Signal processing, Vol.49, No.4, pp. 721-729, Apr 2001.

[14] 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. 523-4533, Sep, 2007

저자약력

**이 관 형(Kwan-Hyeong Lee) [정회원]**



- 2005년 3월 ~ 2007년 2월 : 청주대학교 전자정보공학부 전임강사
- 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

<관심분야>

시스템최적화, 물류정보시스템, 유비쿼터스 컴퓨팅