

균일 선형 배열 안테나에서 선형구속최소분산 방법과 사후 추정 확률을 결합한 도래 방향 추정 알고리즘 연구

이관형*, 박성곤**, 정연서***

A Study on Combined DoA Estimation Algorithm using LCMV and Maximum Posterior on Uniform Linear Array Antenna

Kwan-Hyeong Lee*, Sung-Kon Park**, Youn-Seo Jeong***

요약 본 논문에서는 상관성 신호 시스템에서 원하는 목표물의 도래방향을 추정하기 위한 기존 MUSIC알고리즘과 제안 알고리즘에 대한 성능을 비교 분석한다. 본 논문에서 제안한 알고리즘은 가중치 갱신을 위해서 선형 구속 최소 분산 방법과 도래 방향 오차 확률을 최적으로 감소시키기 위해서 베이스 방법과 최대 사후 확률에 MUSIC알고리즘 적용하여 목표물 도래 방향 추정 오차 확률을 감소하고자 한다. 모의실험을 이용하여 본 연구에서 제안한 알고리즘과 기존의 MUSIC알고리즘의 성능을 비교 분석하였다. 신호대 잡음비가 10dB이고 안테나 배열 개수가 9개와 12일 때, 본 논문에서 제안한 알고리즘이 기존의 MUSIC알고리즘보다 각각 약 11%와 13%의 도래 방향 추정 오차를 감소시켜 본 연구에서 제안한 알고리즘이 우수함을 확인하였다.

Abstract In this paper, we are comparative analysis of exit algorithm and proposal algorithm for desired target direction of arrival estimation in correlation signal system. Proposed algorithm in this paper is to decrease target direction of arrival an estimation error probability using bayesian, maximum posterior, and MUSIC algorithm in order to decrease direction of arrival error probability as optimize and use linear constrained minimum variance to update weight value. Through simulation, we were comparative analysis proposed algorithm and exit MUSIC algorithm. In case SNR is 10dB and antenna element arrays are 9 and 12, We show the superior performance of the proposed method relative to the class method to decrease of signal estimation error probability about 11% and 13%, respectively.

Key Words : Array antenna, Posterior, Estimation, Error signal

1. 서론

최근 연구되는 배열 안테나에 수신되는 다중 평면파의 도래 방향(DoA:Direction of arrival) 추정은 레이더, 통신, 의료등 많은 분야에서 연구가 진행되고 있다[1,2]. 도래 방향 추정 알고리즘에서 MUSIC (Multiple Signal Classification)알고리즘

은 원하는 목표물을 추정할때 가장 많이 사용되고 있다. MUSIC알고리즘은 고유치와 고유분해를 이용하여 부 공간 기법을 사용하여 다른 도래방향 알고리즘보다 계산량이 복잡하고 처리시간이 길어진다. 그러나 MUSIC알고리즘은 목표물을 분별할 수 있는 분해능이 향상되고 신호의 침예도를 향상

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

** Department of Multimedia Engineering, Gangneung-Wonju National University(spark@gwnu.ac.kr)

*** Corresponding Author : Electronics and Telecommunications Research Institute (jys847@etri.re.kr)

Received June 12, 2016

Revised June 18, 2016

Accepted June 18, 2016

시켜 도래방향 추정 오차를 감소시킬 수 있다[3,4]. 무선 이동 통신시스템에서도 고 분해능 도래 방향 추정에 대해서 많은 관심과 연구가 진행되고 있다. MUSIC알고리즘은 Schmidt가 고 분해능 방법과 신호 부 공간 방법으로 도래 방향 추정 알고리즘을 제안하였다[5]. MUSIC알고리즘은 수신기의 배열 안테나 소자수가 신호의 수보다 많아야 한다. 만약 신호원의 수보다 배열 안테나 소자수가 적으면 고 분해능 MUSIC알고리즘은 목표물 추정할 수 없다. 정확한 목표물을 추정하기 위한 방법으로 신호대 잡음비 향상, 안테나 개구면과 스냅샤 수를 증가시키면 더욱더 정확하게 도래 방향 목표물을 추정 할 수 있다[6,7].

고유치와 고유 분해에 근거를 둔 MUSIC 과 ESPRIT 도래방향 추정 알고리즘들은 목표물 분해 능력이 우수하지만 다중경로 혹은 제머등으로 상관신호가 매우 높을 때는 도래 방향 추정 성능이 급격히 저하된다.

본 연구에서는 상관성 신호가 존재하는 환경에서 목표물의 도래 방향 추정을 향상시키는 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 LCMV(Linearly Constrained Minimum Variance)알고리즘을 이용하여 도래 방향의 가중치를 계산하고 베이시안(Bayesian) 기법을 적용시켜 도래 방향 추정 오차 확률을 감소시킨다. 또한 최대 사후 확률(MAP:Maximum Posterior Estimator) 추정기를 적용하여 정확한 목표물의 도래 방향을 추정한다.

본 논문에서는 제안된 알고리즘을 이용하여 목표물의 신호 도래 방향의 추정 오차를 최대한 감소시켜 원하는 신호의 정확한 도래 방향을 추정한다. 제안 알고리즘을 기존 알고리즘과 비교분석하기 위해서 모의실험을 통하여 도래 방향 추정성능을 비교 분석한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 데이터 모델에 대해서 서술하고, 3장에서는 선형 구속 최소 분사 방법, 4장에서는 베이스 방법 과 사후 확률 방법을 이용하여 목표물의 도래 방향 추정 오차 알고리즘을 제안한다. 6장에서는 모의실험을 이용하여 본 연구 제안한 알고리즘과 기존 알고리

즘의 성능을 비교 분석하고 6장에서는 결론을 맺는다.

2. 데이터 모델

배열소자가 M 개로 구성된 균일 선형 배열 시스템에서 D 개의 협대역(Narrowband) 신호가 수신기에 입사하면 수신 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다[8,9].

$$x(t) = A(\theta)s(t) + n(t) \quad (1)$$

여기서 $x(t)$ 는 $M \times 1$ 차원의 수신 신호, $s(t)$ 목표물 신호로서 $s(t) = [s_1(t), s_2(t), \dots, s_D(t)]^T$ 의 $D \times 1$ 이다. $n(t) = [n_1(t), n_2(t), \dots, n_M(t)]^T$ 는 가우스(Gaussian) 잡음 벡터 이다.

$A(\theta) = [a(\theta_1), a(\theta_2), \dots, a(\theta_D)]$ 의 $M \times D$ 지향 벡터이다.

$$a(\theta_i) = \left[1, e^{j\frac{2\pi}{\lambda} \sin\theta_1}, \dots, e^{j\frac{2\pi}{\lambda} \sin\theta_M} \right] \quad (2)$$

$i = 1, 2, \dots, M$ 이다. 식(1)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$x(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_M(t)] \quad (3)$$

안테나 배열 소자의 신호가 무상관이고 독립이라면 공분산 행렬은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} R_x &= E[x(t)x^H(t)] \\ &= ASA^H + \sigma^2 I \end{aligned} \quad (4)$$

$S = E[s(t)s^H(t)]$ 신호공분산행렬, σ^2 는 잡음 전력, I 는 단위행렬, $()^H$ 허미트(hermit)행렬이다.

3. 선형구속최소분산(LCMV)모델

배열 안테나 시스템의 출력신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y(t) = W^H x(t) \quad (5)$$

W 는 가중벡터(weight vector), 배열 안테나 시스템의 출력 공분산행렬은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} R_y &= W^H E[x(t)x^H(t)] \\ &= W^H R_x W \end{aligned} \quad (6)$$

선형구속최소분산은 원하는 목표물의 도래방향 신호에 대해서는 이득과 위상을 갖게 하면서 출력전력을 최소화하는 가중치를 찾는 방법이다. 원하는 목표물의 방향으로 입사하는 신호에 대해서는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$W^H x(\theta) = g \quad (7)$$

g 는 이득이다. 만약 원하는 목표물 신호방향으로 간섭신호가 입사한다면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$W^H x(\phi) = 0 \quad (8)$$

식(7)과식(8)의 구속 행렬은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} x^H(\theta) \\ x^H(\phi) \end{bmatrix} W = \begin{bmatrix} g^* \\ 0 \end{bmatrix} \Rightarrow C^H W = f \quad (9)$$

(\cdot)^{*}는 복소 공액 연산 (complex conjugate operation)이다. 배열 안테나 시스템에서 원하는 방향의 출력 전력을 최소화(minimize)하기 위해서

다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E[|y(t)|^2] = W^H R_x W \quad (10)$$

식(10)의 최적의 가중치를 찾기 위해서 라그랑주 곱셈(Lagrange multipliers)을 적용하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\phi(W; \lambda) = W^H R_x W + 2\lambda^H (C^H W - f) \quad (11)$$

$\phi(W, \lambda)$ 를 최소화 하고 최적 가중치는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial \phi(W, \lambda)}{\partial W} = 2 R_x W + 2 C \lambda^H = 0 \quad (12)$$

$$\frac{\partial \phi(W, \lambda)}{\partial \lambda} = 2(C^H W - f) = 0 \quad (13)$$

$$W = R_x^{-1} C(C^H R_x^{-1} C)^{-1} f \quad (14)$$

4. 도래방향 추정 오차 확률

목표물의 도래 방향 추정 신호의 확률 분포 함수는 최대 우도함수(Maximum Likelihood function)를 이용하면 다음과 같이 나타낼 수 있다[10].

$$P(X|\theta) = \prod_{d=1}^D \prod_{i=1}^M \frac{1}{\sigma^2 \pi} e^{-\frac{1}{\sigma^2} |x_i(t_d) - L|^2} \quad (15)$$

$$L = \int_{d=1}^D A_d e^{(j2\pi f_d(t_n - (i-1)\tau_d) + \theta_d)} \quad (16)$$

x_i 는 i 번째 수신신호, σ 는 분산, t_d 는 d 번째 신호 시간, A_d 는 d 번째 진폭, τ_d 는 d 번째 지연시간이다. 베이스 이론(Bayesian theory)을 적용한 사후 밀도 함수(posterior density function)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P(\theta|X) = \frac{P(X|\theta)P(\theta)}{P(X)} \quad (17)$$

$p(X)$ 는 수신 신호의 확률밀도함수이다. N 번의 스냅샷을 이용하여 잡음들을 구별하고 구간단위로 블록처리하면 s 번째 잡음 블록은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$N_s = \prod_{n=1+(s-1)n_b}^{sn_b} \prod_{i=1}^M f_i(t_n) f_i^*(t_n) \quad (18)$$

여기서 $s = 1, 2, \dots, n_b$, n_b 는 잡음 블록이다. 식(18)을 고유치진계와(λ_k)와 고유분해(e_k)를 하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q = \frac{1}{\sqrt{\lambda_d}} \sum_{d=1}^K e_{id}^* L_i(t_n) \quad (19)$$

원하는 목표물의 도래 방향을 추정하기 위해서 식(15)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P(\theta|X) \approx \left[1 - \frac{F^2}{B^2}\right]^{DN_d - MN} \quad (20)$$

$$B^2 = \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^M |x_i(t_n)|^2 \quad (21)$$

$$F^2 = \sum_{s=1}^{N_b} \sum_{d=1}^D \left| \sum_{n=1+(s-1)n_s}^{sn_s} \sum_{i=1}^M x_i(t_n) (H_{mk}^s)^* \right|^2 \quad (22)$$

목표물의 도래 방향 추정 사후 확률 밀도함수에 원하는 신호의 도래 방향은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

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

5. 모의실험

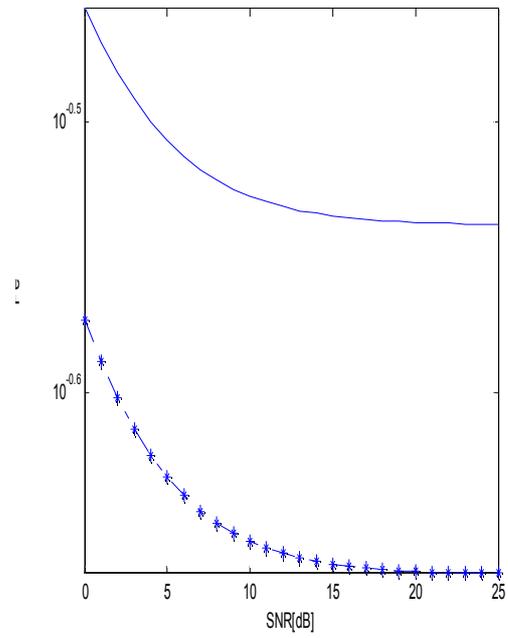
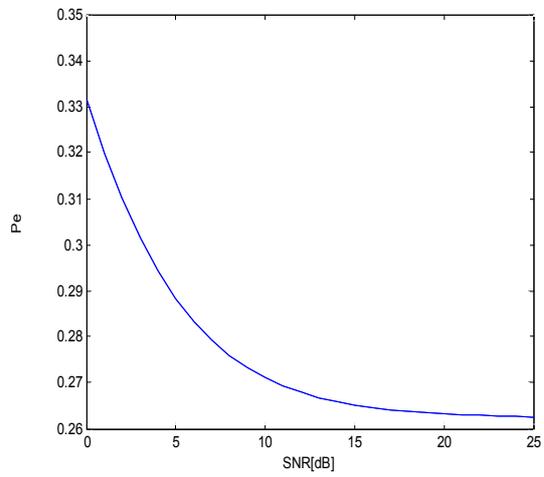
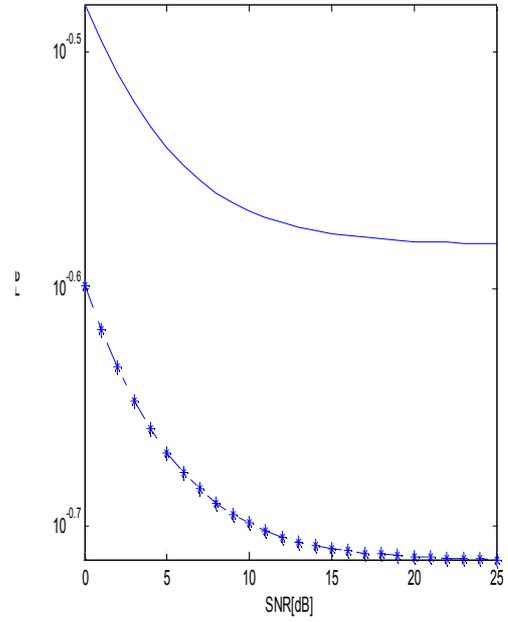
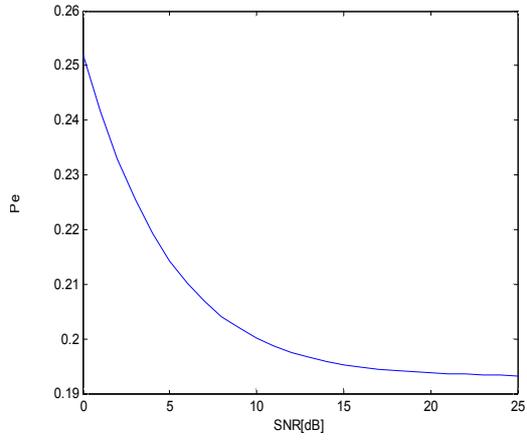
본 장에서는 고 분해능으로 알려진 기존의 MUSIC알고리즘과 본 연구에서 제안한 알고리즘을 모의실험을 통하여 성능을 비교 분석한다. 균일 선형 배열 안테나 소자 간격은 그레이팅 로브를 회피하기 위해서 반 파장으로 하였다.

그림1은 선형 구속 최소 분산 방법과 MUSIC알고리즘을 이용하여 도래 방향 추정 오차 확률을 나타내었다. 그림 1에서 신호대 잡음비가 10dB인 경우에 목표물의 추정 오차 확률이 약 20%를 나타내고 있다.

그림 2는 베이스 방법과 MUSIC알고리즘을 결합하여 목표물의 도래 방향 추정 오차 확률을 나타내었다. 그림 2에서 신호대 잡음비가 10dB인 경우에 목표물의 추정 오차 확률이 약 27%를 나타내고 있다. 그림 2는 그림1과 비교하여 목표물 추정 오차 확률 성능이 저하되는 것 알 수 있다.

그림 3은 목표물의 도래 방향을 추정하기 위해서 본 연구에서 제안 방법과 기존의 MUSIC알고리즘을 비교 분석한 그래프이다. 그림 3에서 점선은 본 연구에서 제안한 알고리즘의 성능이고, 실선은 MUSIC알고리즘 성능이다. 그림3에서 신호대 잡음비가 10dB인 경우에 기존의 MUSIC알고리즘은 도래 방향 추정 오차 확률은 약 29%, 본 연구에서 제안한 알고리즘의 도래 방향 추정 오차 확률은 약 20%이다. 그림 3은 본 연구에서 제안한 방법이 기존의 MUSIC방법보다 도래 방향 추정 오차 확률이 약 9% 감소하였다. 그림 4는 안테나 배열 소자수를 12개로 하였을 때 목표물의 도래 방향 추정 오차 확률을 나타내었다.

그림 4에서 신호대 잡음비가 10dB인 경우에 기존의 MUSIC알고리즘 도래 방향 추정 오차 확률은 약 31%, 본 연구에서 제안한 알고리즘의 도래 방향 추정 오차 확률은 약 18%이다. 그림 4는 본 연구에서 제안한 방법이 기존의 MUSIC방법보다 도래 방향 추정 오차 확률이 약 13% 감소하였다.



6. 결론

본 논문에서는 목표물의 도래방향 추정을 위해서 MUSIC알고리즘을 수정한 새로운 도래방향 추정 알고리즘을 제안하였다. 제안된 도래 방향 추정 알고리즘은 선형 구속 최대 분산 방법으로 최적의 가중치를 갱신하고 기존의 MUSIC알고리즘에 베이스 확률을 적용하여 도래 방향 추정 오차 확률을 최소화 하였다. 기존의 알고리즘과 성능을 비교하기 위해서 모의실험을 실시하였다. 모의실험 조건은 안테나 배열 개수가 9개 일때와 12개 일때의 조건하에서 신호대잡음비를 변화시키면서 도래방향 신호 추정 성능의 오차 확률을 분석하였다. 안테나 개수가 9개 인경우에서, 기존의 MUSIC알고리즘보다 베이스 확률과 MUSIC알고리즘 결합한 도래 방향 추정 성능방법이 약 7%의 오차 확률을 개선하였고 기존의 MUSIC알고리즘과 본 연구에서 제안한 알고리즘의 비교 분석은 본 연구에서 제안한 알고리즘이 기존의 MUSIC알고리즘보다 약11%의 도래 방향 오차 확률을 감소 시켰다. 본 연구에서 제안한 알고리즘이 기존의 MUSIC알고리즘보다 목표물 도래 방향 추정 오차 확률이 감소하여 성능의 우수함을 입증하였다.

REFERENCES

[1] B. Allen and M. Ghavami, "Adaptive Array System", Wiley, Feb, 2005.
 [2] Frank.B.Gross, "Smart Antennas for Wireless Communications", Mc Graw Hill, Jan, 2005.
 [3] N. Le Bihan, S. Miron, and J.I Mars, "MUSIC Algorithm for vector-sensors Array using Biquaternions", IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 55, No. 9, Sept, 2007.
 [4] Zhang Meng Liu, Zhi Tao Huang, and Yi Yu Zhou, "Direction of Arrival Estimation of Wideband Signals via Covariance Matrix Sparse Representation", IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 59, No. 9, 2011.
 [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] G.Elger, B.Spinger, N.Biene and N.Benter,"LED Matrix light source for adaptive driving beam applications", IEEE Electric Components and Technology Conference(ECTC), pp. 535-540, May 2013.
 [7] Y.Zheng, A.Fraysse, and T.Rodet, "Efficient variational Bayesian approximation method based on subspace optimization", IEEE Trans on Image Processing, Vol.24, No.2, pp.681-693, Feb 2015.
 [8] Z.Ding , Wenwu Song, Chonghua, and Yang Xu,"Study on the Cosite interferece Cancellation using AIC technique", Enviromental Electromagnetics, conference(CEEM), pp.365-368, sept 2009.
 [9] P.M.B.Vitanyi and Ming Li, "Minimum description length induction, bayesianism, and kolmogorov complexity", IEEE Trans on Information Theory, Vol.46, No.2, pp.446-464,Mar 2002.
 [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 전임강사
- 2007년 3월 ~ 2010년 2월 : 국방과학연구소 근무
- 2010년 3월 ~ 현재 : 대전대학교 전기전자통신공학부 통신공학전공 교수

<관심분야>

무선통신, 위치추적

박 성 곤(Sung-Kon Park)

[정회원]



- 1980년 : 광운대학교 전자공학과 공학사
- 1983년 : 한양대학교 전자공학과 공학석사
- 1993년 2월 : 충북대학교 컴퓨터공학과 공학박사
- 1980년 ~ 1983년 : LG정보기기사업부
- 1983년 ~ 1988년 : 쌍용정보통신 연구소
- 1991년 ~ 현재 : 강릉원주대학교 멀티미디어공학과 교수

<관심분야>

유비쿼터스 컴퓨팅, 디지털 콘텐츠

정 연 서(Youn-Seo Jeong)

[정회원]



- 1996년 : 충북대학교 컴퓨터공학과 석사
- 2001년 : 충북대학교 컴퓨터공학과 공학박사
- 2001년 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 근무

<관심분야>

네트워크, 정보 보안, 디지털 콘텐츠, 유비쿼터스 컴퓨팅