

입사신호의 도래방향 추정을 위한 최대 사후 확률 추정기에 대한 연구

이관형*, 박성곤** 정연서***

A Study on Maximum Posterior Probability Estimator for Direction of Arrival Estimation of Incoming Signal

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

요약 본 연구에서는 균일 선형 배열 안테나 시스템에서 입사신호의 방향을 추정하기 위한 기존의 방법과 제안방법의 성능에 대해서 비교한다. 본 논문에서 제안한 방법은 최대 사후 확률 추정기를 적용하여 신호의 도래방향 추정 오차확률을 감소하고자 한다. 신호 추정 방향 확률 오차를 감소시키면 안테나에 입사하는 신호의 방향을 정확히 추정할 수 있다. 모의실험을 이용하여 본 연구에서 제안한 방법과 기존의 방법을 비교 분석하였으며 또한 배열 안테나 개수를 증가시키면서 신호 추정 오차 확률을 비교 분석하였다. 본 연구에서 제안한 방법이 기존의 방법보다 약 8%의 신호 추정 오차 확률을 감소시켜 도래방향 신호 추정 능력이 우수함을 입증하였다.

Abstract In this paper, we are comparative analysis both class method and proposal method in order to estimation of incident signal direction on uniform array antenna system. Proposal method of this paper decrease error probability for a signal direction of arrival estimation using maximum posterior probability estimator. If it decrease to signal estimation direction error probability, signal direction of arrival can correctly estimate. Through simulation, we were comparative analysis proposed method and class method. Also, we were comparative analysis about signal estimation error probability with increasing array antenna element. We show the superior performance of the proposed method relative to the class method to decrease of signal estimation error probability about 12%.

Key Words : Array antenna, Posterior, Estimation, Error signal, Signal estimation error probability

1. 서론

배열신호처리분야에서 고 분해능 도래방향 추정은 지금까지 많은 관심과 연구가 진행되고 있다. 목표물 추정에서 Schmidt와 Bienen은 고 분해능 방법과 신호 부 공간 방법을 제안하였으며 도래방향 추정방법에서 가장 많이 사용되고 있다 [1-2]. 고유 분해에 근거를 둔 도래방향 추정 방법들은 제한 조건으로 성능이 우수하지만 배열의

상관신호, 매우 근접한 목표물, 적은 스냅샷 수와 신호대 잡음비가 낮아지면 도래방향 추정 성능이 급격히 감소한다. 지금까지 연구된 도래방향 추정 방법들보다 훨씬 더 좋은 성능을 갖는 방법들이 현재 진행되고 있으며 최근에 베이스(Bayesian)방법에 근거를 둔 도래방향 추정 방법들이 우수한 성능을 나타내고 있다.[3]

대부분의 도래방향 추정 방법들은 신호원의 개수를 알고있다는 가정에서 목표물의 신호를 추정

* 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 April 6, 2016

Revised April 13, 2016

Accepted April 26, 2016

한다. 도래방향 추정기에서 신호를 추정하기 위한 방법들은 Akaike's Information Criterion(AIC)와 Minimum Description Length(MDL)이다[4-5]. AIC방법은 신호를 비대칭으로 과도하게 추정하고 MDL방법은 낮은 신호대잡음비 혹은 스냅샷수가 적은 상태에서는 신호를 적게 추정한다. 수신기의 안테나에 입사하는 신호중에서 사용자가 원하는 신호는 여러 가지 자연 환경 및 인간 구조물 인하여 잡음과 간섭이 발생하여 정확히 신호를 추정하는데 많은 어려움이 발생한다. 도래 방향 신호를 정확하게 추정하기 위해서 수신기의 스냅샷을 충분하게 실행하면 정확한 도래방향을 추정 할 수 있다. 그러나 스냅샷의 충분한 횟수는 실시간 처리 및 시스템의 처리용량으로 제한적이다. Peter M. Djuric는 신호 도래방향을 검출하기위한 최대 사후 확률 (MAP : Maximum a Posterior)방법을 제안하였다[6]. Peter가 제안한 최대 사후 확률 방법은 다중경로로 인하여 신호의 도래 방향수가 많은 경우에는 복잡한 계산량으로 신호의 오차 추정 확률이 감소하는 단점이 있다.

본 연구에서는 정확한 도래 방향의 신호를 추정하기 위해서 최대 사후 확률에 베이시안 방법을 추가하여 안테나에 입사하는 신호 추정 오차를 감소시키는 방법을 제안한다.

본 논문에서는 수정된 MAP방법을 이용하여 신호의 도래방향 추정 오차 확률 추정하고, 검출된 신호는 도래 방향 신호 추정에서 정확한 방법으로 목표물을 추정할 수 있다. 모의실험을 통하여 기존방법과 제안된 방법의 성능을 비교 분석한다. 기존방법은 MUSIC방법과 베이시안 방법을 결합한 것이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 도래 방향의 스펙트럼을 찾기 위한 선형 배열 시스템의 신호 모델에 대해서 서술하고, 3장에서는 사후 확률 추정기를 이용한 목표물 추정 방법에 대해서 제안한다. 4장에서는 모의실험을 이용하여 본 연구 제안 방법과 기존 방법의 성능을 비교 분석하고 5장에서는 결론을 맺는다.

2. 선형 배열 시스템 모델

M 개로 구성된 균일 선형 배열 시스템에서 수신 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} y(t) &= x(t) + n(t) \\ &= As(t) + n(t) \\ &= \sum_{i=1}^M B_i Z_i + n \end{aligned} \tag{1}$$

여기서 $x(t)$ 는 수신 신호 성분, $n(t)$ 는 잡음이다. A 는 배열 응답 신호, $s(t)$ 는 수신 신호, B_i 는 i 번째 신호 진폭, $Z_i = \exp[j2\pi d \sin(\theta_i)]$ 이다. d 는 배열소자 간격, θ 는 위상이다. 도래방향 추정 시스템에서 가장 많이 사용되는 방법이 MUSIC이다. MUSIC방법은 신호의 부공간 기법을 이용하여 신호의 위치를 추정한다. MUSIC방법의 스펙트럼의 다음과 같이 나타낼 수 있다[7].

$$P_M = \frac{1}{a(\theta) E_N E_N^H a(\theta)^H} \tag{2}$$

여기서 $a(\theta)$ 는 배열 지향 벡터, E_N 는 신호잡음 부공간, $()^H$ 는 허미트 행렬이다. 균일선형배열시스템이라면, i 번째 배열 지향벡터는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$a_i(\theta) = \exp[jkd(i-1)\sin\theta] \tag{3}$$

여기서, $k = 2\pi/\lambda$, $i = 1, 2, \dots, M$, 이다. 식 (2)에서 신호 잡음부공간을 다음과 같이 나타낸다.

$$C = E_N E_N^H \tag{4}$$

여기서 $n = 1, 2, \dots, N$ 이다. MUSIC스펙트럼의

식(2)분모를 식(4)의 상관계수로부터 다항식을 표현하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$D(z) = \sum_{i=M+2}^{M-1} C_i Z_i \quad (5)$$

MUSIC 스펙트럼의 극점은 식(5)에 의해서 추정할 수 있으면 도래방향은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{\text{Im}(\log Z_i)}{kd}\right) \quad (6)$$

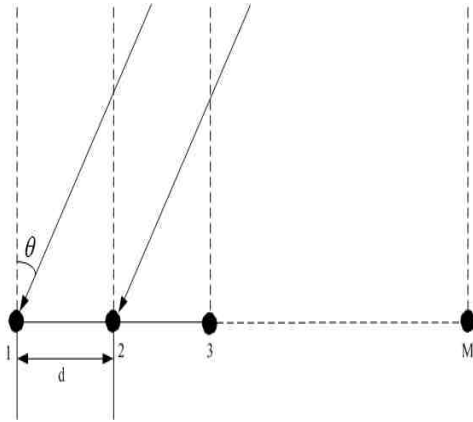


그림 1. 균일 선형 배열 안테나
Fig. 1. Uniform Linear Array Antenna

3. 도래방향 추정을 위한 사후 추정기

본 장에서는 신호를 검출하여 도래방향을 추정할 수 있는 방법을 제시한다. K 개의 협대역 신호가 수신기에 입사하는 신호 위상과 지연시간을 고려한 i 번째 신호 모델은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$x(t) = \sum_{k=1}^K B_k e^{(j2\pi f_k(t_n - (i-1)\tau_k) + \theta_k)} + N(t_n) \quad (7)$$

여기서 $k=1,2,\dots,K$, B_k 는 k 번째 신호의 진폭, f_k 는 k 번째 신호의 주파수, θ_k 는 k 번째 신호의 초기위상, τ_k 는 근접신호의 시간지연이다. 잡음은 평균이 0이고 분산이 σ^2 인 복소 가우시안 분포를 갖는다. 신호의 확률 분포 함수는 가우시안 잡음을 이용하여 우도함수(Likelihood function) 표현으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$p(X|\theta, \sigma) = \prod_{n=1}^N \prod_{i=1}^M \frac{1}{\sigma^2 \pi} e^{-\frac{1}{\sigma^2} |x_i(t_n) - U|^2} \quad (8)$$

$$U = \sum_{k=1}^K B_k e^{(j2\pi f_k(t_n - (i-1)\tau_k) + \theta_k)} \quad (9)$$

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

$$p(\theta, \sigma|X) = \frac{p(X|\theta, \sigma)p(\theta, \sigma)}{p(X)} \quad (10)$$

$p(X)$ 는 상수, 잡음 블록으로 N 개의 스냅샷들을 분리하면 각 잡음 블록은 N 개의 스냅샷으로 될 수 있으며 s 번째 블록 데이터는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$F_s = \prod_{n=(s-1)n_b+1}^{sn_b} \prod_{i=1}^M f_i(t_n) f_i^*(t_n) \quad (11)$$

여기서 $(\cdot)^*$ 는 복소 공액 연산 (complex conjugate operation), $s=1,2,\dots,n_b$, n_b 는 잡음 블록이다. 고유치(λ_k)와 고유분해(e_k)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q = \frac{1}{\sqrt{\lambda_k}} \sum_{m=1}^K e_{mk}^* U_m(t_n) \quad (12)$$

도래방향을 추정하기 위해서 다중 적분을 이용하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$p(\theta, \sigma | X) = \iiint p(f, I, \theta, \sigma | X) dI d\theta d\sigma \quad (13)$$

$$+ \sum_{n=1}^{sn_b} \sum_{i=1}^M \sum_k^K |x_i(t_n) Q_k^*|$$

(식)11로부터 사후 확률 밀도함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

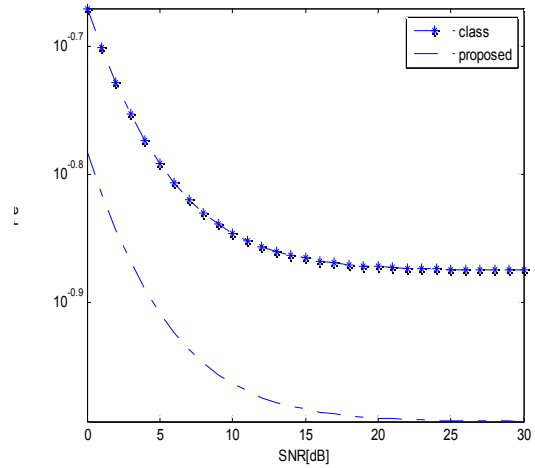
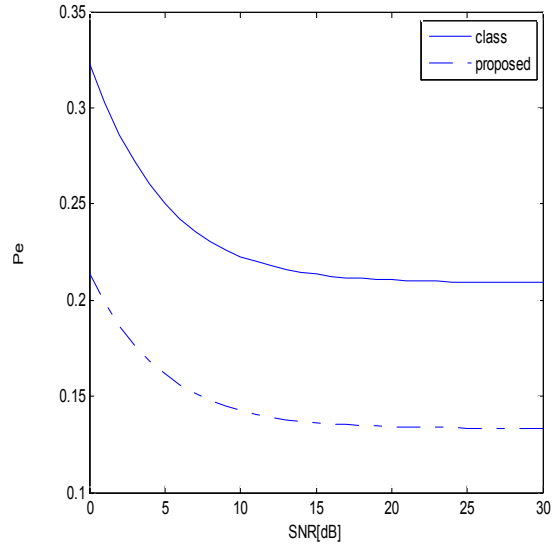
$$p(\theta | X) = p(f, \theta | X) + \sum_{n=1}^{sn_b} \sum_{i=1}^M \sum_k^K |x_i(t_n) Q_k^*| \quad (14)$$

원하는 목표물의 도래방향 추정은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\theta_{fi} = \arg \max_{\theta} p(\theta | X) \quad (15)$$

4. 모의실험

본 장에서는 기존의 방법과 본 연구에서 제안한 사후 추정 스펙트럼의 도래방향 추정방법에 대한 확률을 비교 분석한다. 선형배열안테나 소자 간격은 반파장으로 설정하였다. 기존의 방법은 고유치와 고유치 분해를 이용하여 신호공간을 두 개의 부공간으로 처리하는 MUSIC방법을 적용한다. 모의실험을 통하여 기존과 제안 방법에 대한 성능을 분석하였다. 그림2는 배열 안테나 개수가 6개인 경우에 신호대 잡음비를 변화시키면서 도래방향 추정오차 확률을 비교 분석하였다. 도래방향 신호 추정 오차 확률에서 신호대 잡음비가 10dB 일 때 기존의 방법은 약 22%의 추정오차 확률을 나타내고, 본 연구에서 제안한 방법은 약 14%의 추정부확률 오차를 나타내었다.



5. 결론

본 논문에서는 도래방향 추정을 위해서 사후 확률 추정기를 이용하였다. 도래방향 추정의 성능 분석은 신호대잡음비를 변화시키면서 도래방향 신호 추정 성능에서 대해서 오차 확률을 분석하였다. 그리고 배열 안테나 개수를 변화시켜 기존의 방법과 본 연구에서 제안한 방법의 성능을 비교분석하였다. 배열안테나 개수 6개이고 신호대 잡음비가 10dB인경우에 본 연구에서 제안한 방법이 기존의 방법보다 약 8%우수한 성능을 나타내었다. 배열안테나 개수 9개이고 신호대 잡음비가 10dB인경우에 본 연구에서 제안한 방법이 기존의 방법보다 약 4% 우수한 성능을 나타내었다. 본 연구에서 제안한 방법에서 신호대 잡음비가 10dB 이고 배열안테나 개수가 6개인 경우는 14%, 배열 안테나 개수가 9개인경우는 10%이다. 본 연구에서 제안한 방법이 기존의 방법보다 우수함을 입증하였고 배열안테나 개수가 증가하면 도래방향 추정 오차확률이 감소하는 것을 확인하였다.

REFERENCES

[1] 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.

[2] G.Elger, B.Spinger, N.Biene and N.Benter,“LED Matrix light source for adaptive driving beam applications”, IEEE Electrnic Components and Technology Conference(ECTC), pp. 535-540, May 2013.

[3] 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.

[4] Z.Ding , Wenwu Song, Chonghua, and Yang Xu,“Study on the Cosite interfece

Cancellation using AIC technique”, Enviromental Electromagneti cs, conference(CEEM), pp.365-368, sept 2009.

[5] P.M.BVitari 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.

[6] 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.

[7] 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.

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