

Kalman filter법에 의한 어댑티브 어레이 안테나

박재성^a · 오경석^a · 주창복^a · 박남천^a · 정주수^b

^a경남대학교

^b창원전문대학교

Adaptive array antenna using kalman filter method

Jae-Sung Pak^a · Kyung-Seak Oh^a · Chang-Bok Joo^a · Nam-Chon Park^a · Joo-Soo Jeong^b

^aKyungnam University

^bChangWon College

E-mail : wireless@kyungnam.ac.kr

E-mail : kucomm@netian.com

요약

어댑티브 어레이 안테나를 이동체에 적용하는 경우 가중계수벡터를 전파 환경의 변화에 고속 적응시킬 필요가 생긴다.

4소자 등간격 선형 어레이 안테나 시스템에 대하여 일정 진폭의 포락선을 갖는 BPSK와 FSK신호에 LMS와 Kalman filter 알고리즘을 적용한 컴퓨터 시뮬레이션 결과 LMS에 비하여 Kalman filter 알고리즘이 수렴성이 빠르고 신호의 추종성이 매우 뛰어난 것을 확인 할 수 있었다.

ABSTRACT

Adaptive array is using the array of antenna elements spatially and its output is the sum of each antenna elements output signal which is multiplied by the controlled weight coefficients corresponding to each elements

In this paper, for the BPSK and BFSK signals with S/I=2, S/N=10 is applied to the linear array antenna using the LMS & the Kalman filter algorithm.

For the 4 elements equidistance linear array antenna system LMS and Kalman filter algorithm was used as the adaptive instruction principles and the application results to the constant amplitude envelope signals such as BPSK or BFSK can be seen that the computer simulation results are very fast in the convergence characteristics of directional patterns and the signal following characteristics.

I. 서론

이동통신 분야에서 어댑티브 어레이 기술이 주목을 받아가고 있다[1,2,3].

어댑티브 어레이에 대해서는 지금까지 많은 연구가 진행되어 왔지만 특히, 현재 휴대전화 등과 같은 이동통신분야에서 어댑티브 어레이 기술이 크게 주목을 받고 있다.

통상적으로 어댑티브 어레이는 공간적으로 분산 배치된 복수의 안테나, 즉 안테나 배열이 사용되고 각 안테나 소자의 수신신호에 진폭과 위상을 갖는 복소량인 가중계수를 곱하여 합한 신호를 안테나 시스템의 출력으로 된다.

어댑티브 어레이의 중요한 목적은 의도된 신호와 의도되지 않은 신호사이의 상관성을 떨어뜨리므로써 DUR (desire to undesire ratio)를 증가시키는 것이다. 즉 어댑티브 어레이 안테나는 소망

신호파의 도래방향이 미지의 경우, 혹은 강한 간섭파가 존재하는 곳에서 미약한 소망신호파를 수신하는 경우에 어레이의 각 안테나소자의 가중계수를 자동적으로 제어하는 것에 의해 소망 신호파의 도래방향의 변화에 적응 할 수 있게 함으로써 강한 지향성을 형성하고 방해 간섭파 방향에서는 영점 (null point)을 형성케 하므로써 수신신호의 SINR를 최대화 시키는 안테나 시스템이다.

본 논문에서는 4소자 선형 어댑티브 어레이안테나 구조에 LMS와 칼만필터법을 적용할 때 관찰된 지향성 패턴의 적응성과 출력 SINR 및 가중계수 벡터의 수렴특성 등을 기술한다.

II. 시스템 모델

그림 1은 4소자 선형 어댑티브 어레이안테나의 블록도를 나타내 보인 것이다[7,8].

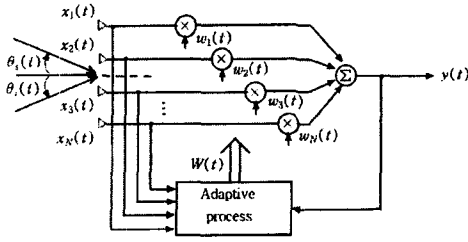


Fig. 1. Linear adaptive array processing algorithm

어댑티브 어레이안테나에서 각 안테나 소자의 수신신호는 도래신호의 방향 및 어레이 소자의 배치에 의존한다. 그림 1에 표시한 것과 같이 직선상에 N개의 무지향성 소자가 배치되어 있는 상황에서 파장 λ 의 평면파가 도래하는 경우를 생각해 본다.

신호파와 간섭파가 각각 각도 θ_s, θ_i 에서 도래하는 경우, k 번째 어레이 소자의 수신신호는 다음과 같이 나타내진다[1,2,7,8].

$$x_k(t) = s(t)\exp[-j[2\pi(k-1)d/\lambda]\sin\theta_s] + i(t)\exp[-j[2\pi(k-1)d/\lambda]\sin\theta_i] + n_k(t) \quad k=1, 2, \dots, N \quad (1)$$

여기서 $s(t)$ 는 신호파, $i(t)$ 는 간섭파, $n_k(t)$ 는 열잡음이고 d 는 안테나 소자 간격이다. 어레이의 출력신호 $y(t)$ 는 식 (2)로 주어진다.

$$y(t) = \sum_{k=1}^N w_k(t)x_k(t) \quad (2)$$

여기서 $w_k(t)$ 는 k 번째 어레이 소자의 가중계수(weight coefficient)이다.

신호파와 열잡음 및 간섭파가 상호독립의 경우

$$R_{xx} = R_{ss} + R_{ii} + R_{nn} \quad (3)$$

로 주어진다. 여기서 R_{ss}, R_{ii}, R_{nn} 는 각각 신호파, 간섭파 및 열잡음의 자기상관 행렬을 나타낸다. 그러므로 어레이 출력에서 SINR γ 는

$$\gamma = \frac{p_s}{p_i + p_n} = \frac{W^H R_{ss} W}{W^H R_{i+n} W} \quad (4)$$

여기서 $R_{i+n} = R_{ii} + R_{nn}$ 이며 $i(t) + n(t)$ 의 상관행렬을 나타낸다.

2.1 LMS 알고리즘

LMS 어댑티브 어레이는 Widrow에 의해 제안되고 Compton 등에 의해 발전되어 현재에도 연구가 계속 진행되고 있는 대표적인 알고리즘이나 기준신호파에 의해 소망파와 간섭파를 구별하고 가중계수의 제어를 행한다. 즉 기준신호 $d(t)$ 와 어레이 출력 $y(t)$ 와의 오차신호 $e(t)$ 의 제곱평균을 최소로 하는 알고리즘으로 가중계수벡터 $W(k)$ 는 다음과 같이 나타내진다.

$$W(k+1) = W(k) + \mu e(k)X^*(k) \quad (5)$$

$$e(k) = d(k) - X^T(k)W(k) \quad (6)$$

가중계수가 수렴한 정상상태에서 가중계수의 최적 정상해를 위너해(Wiener solution)라 부르며 다음과 같이 주어진다.

$$W_{opt} = R_{xx}^{-1} R_{xd} \quad (7)$$

2.2 Kalman filter 알고리즘

여기서는 신호파와 간섭파 및 열잡음이 상호 독립인 경우에 대한 Kalman Filter 알고리즘[4]을 간략히 요약해 본다.

Kalman 필터에 의한 어댑티브 어레이 알고리즘의 적용은 수렴이 빠르고 고속 전송에의 대응이 가능하며 안정성이 뛰어나다는 특성이 있어[5] 멀티패스 환경하의 이동통신에의 적용에 적합한 것으로 되어 있다[6].

이산시간 k 에서 가중계수 W_{opt} 로부터 $(k+1)$ 에서의 값 $W(k+1)$ 을 구하는 가중계수의 상태 표시식은 다음과 같이 나타내어진다.

$$W(k+1) = W(k) + K(k)[d(k) - X^T(k)W(k)] \quad (8)$$

$$K(k) = \frac{P(k-1)X^*(k)}{[X^T(k)P(k-1)X^*(k) + \sigma^2]}$$

$$P(k) = P(k-1) - K(k)X^T(k)P(k-1) \quad (9)$$

$$\sigma^2 = E[e^2(k)]$$

$$e(k) = d(k) - y(k)$$

여기서 $K(k)$ 는 Kalman 이득, $P(k)$ 는 추정오차 분산벡터이고 σ^2 은 랜덤 가우시안잡음의 평균전력을 나타낸다.

상기와 같이 요약한 두 어댑티브 어레이 제어 알고리즘에서는 오차신호에서 기준신호를 필요로 하고 있으며 이것은 이들 알고리즘의 큰 단점으로 되어 있다.

III. 시뮬레이션 결과

3.1 시뮬레이션 조건

본 논문에서는 그림 1의 4소자 선형 어댑티브 어레이안테나 시스템에 대한 Kalman Filter 알고

리즘과 LMS 알고리즘에 의한 어댑티브 지향성패턴의 적응성과 출력 SINR 및 가중계수의 수렴특성 등을 알아 보았다.

시험에 사용한 시뮬레이션 조건은 다음과 같다.

- (1) 안테나는 4소자의 등간격 선형 어레이 안테나를 사용하고 소자간격은 $\lambda/2$ 로 하였다.
- (2) 수신신호는 식 (1)과 같이 각 신호파로 분해하여 나타낸다.
- (3) 데이터의 전송속도는 128kbps의 랜덤 데이터이며 BPSK, FSK신호에 대한 가중계수의 경신주기는 10msec로 하였다.
- (4) 신호대 랜덤 가우시안 잡음의 평균 전력비는 $S/N=10$, 신호파 대 간섭파의 전력비는 $S/I=2$ 로 하였다.
- (5) 간섭파의 지연 위상은 ϕ 로 하고 신호파와 간섭파의 입사방향을 다음과 같이 3가지 종류를 가정하였다.

- ① $\theta_s = 30^\circ$, $\theta_i = 10^\circ$, $\phi = 0.2 \text{ rad}$
- ② $\theta_s = 30^\circ$, $\theta_i = -10^\circ$, $\phi = 0.2 \text{ rad}$
- ③ $\theta_s = 30^\circ$, $\theta_i = -40^\circ$, $\phi = 0.2 \text{ rad}$

3.2 수렴특성

그림 2는 LMS와 Kalman filter법의 수렴성을 비교하여 보인 것이다.

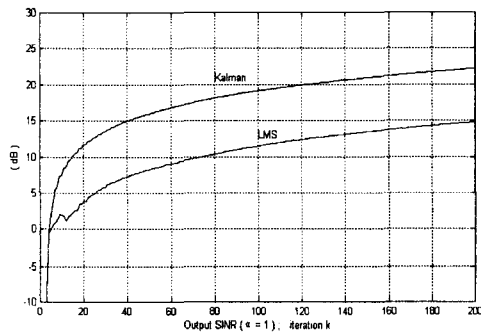
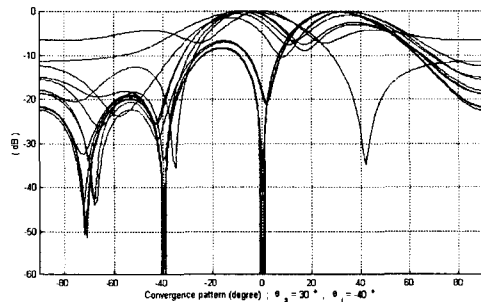
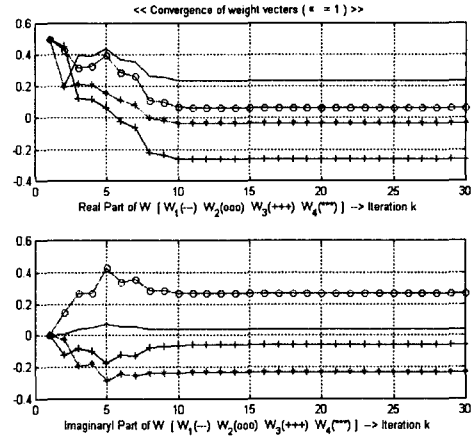


Fig. 2. Comparison of SINR characteristics



(a) Convergence patten of kalman



(b) Weight vector

Fig. 3 Kalman filter Algorithm(BPSK signal)

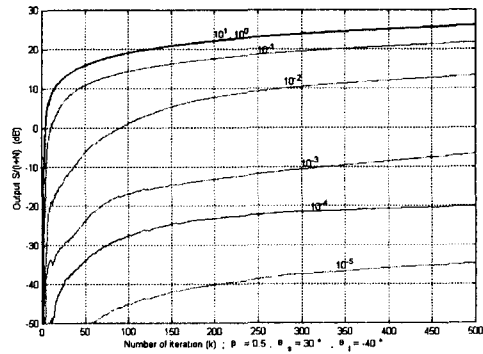


Fig. 4 Estimate error convergence characteristic vs. initial parameter with $P(0) = \alpha U$, $W(0) = 0.5$, $S/N = 10$, $S/I = 2$

그림 3은 Kalman filter법에 의한 알고리즘의 수렴특성과 패턴 변화를 보여주고 있다.

LMS에서 가중계수벡터의 경신속도는 오차신호의 크기에 의해 결정되는데 비해 Kalman filter법에서는 입력신호 벡터의 상관행렬의 역행렬에 의해 제어되고 있다. 이 차이가 수렴속도에 크게 영향을 주는 것으로 생각된다.

그림 4은 α 값의 변화에 따른 SINR 출력을 보여주고 있다. 10^0 을 기준으로 하여 α 값을 증가시켜 보면 SINR 출력이 양호한 상태로 일정하게 나오는 반면에, α 값을 반대로 감소시키면 그만큼 SINR 출력이 떨어짐을 알 수 있다.

그림 2와 3의 결과로부터 Kalman filter법은 LMS와 비교해서 대단히 빠르게 수렴하고 있는 것을 볼 수 있다. 제어 개시로부터 수렴까지의 안테나 배열의 지향성 변화를 보면 Kalman filter법의 경우 제어 개시후 안테나의 지향성 패턴이 빠

르게 신호파의 도래 방향으로 이동하고 있고 10회 이내의 반복 계산 만으로 신호파의 도래 방향에 최대 지향성 패턴이 형성되고 있다.

또한 지향성 패턴의 수렴 특성에서 Kalman filter법은 그 적응성이 매우 빠르고 안정되어 있다. 반면 LMS에서의 수렴 특성은 Kalman filter법에 비하여 매우 느린데 이것은 SINR의 수렴 특성과도 일치하고 있음을 알 수 있다.

IV. 결 론

어댑티브 어레이 안테나를 이동체에 적용하는 경우 가중 벡터를 전파 환경의 변화에 고속 적응시킬 필요가 생긴다.

기준신호를 필요로 하는 LMS와 Kalman Filter 알고리즘을 적용하여 어댑티브 어레이안테나 시스템의 신호 추종성과 알고리즘의 수렴성, 안정성 등에 관한 컴퓨터 시뮬레이션을 행하였다.

4소자 등간격 선형 어레이안테나 시스템에 대하여 일정 진폭의 포락선을 갖는 BPSK와 FSK신호에 적용한 결과 LMS에 비하여 Kalman Filter 알고리즘이 수렴성과 신호의 추종성이 매우 뛰어난 것을 확인 할 수 있다.

컴퓨터 시뮬레이션 결과 Kalman filter법에 의한 적응배열 안테나는 매우 빠른 수렴 특성을 보인다. 이러한 결과는 전파환경이 시간적으로 급속히 변화하는 경우에도 정확한 적응제어가 행해질 수 있음을 의미한다.

제어 개시로부터 수렴까지의 안테나 배열의 지향성 변화를 보면 Kalman filter법의 경우 제어 개시후 안테나의 지향성 패턴이 빠르게 신호파의 도래 방향으로 이동하고 있고 10회 이내의 반복 계산 만으로 신호파의 도래 방향에 최대 지향성 패턴이 형성되고 있다.

또한 지향성 패턴의 수렴 특성에서 Kalman filter법은 그 적응성이 매우 빠르고 안정되어 있다. 반면 LMS에서의 수렴 특성은 Kalman filter법에 비하여 매우 느린데 이것은 SINR의 수렴 특성과도 일치하고 있음을 알 수 있다.

참고문헌

- [1] Jinkuan Wang, Tadashi Takano ; Investigation on adaptive antennas using a Kalman Filter. IEICE, vol. J75-B-II No.11, pp 835~842, 1992
- [2] Jinkuan Wang, Tadashi Takano and Kojiro Hagino ; Adaptive antennas using a Kalman Filter for fast mobile communications. IEICE vol. 76-B-II. No.4. pp 277~285. 1993
- [3] B. Suard, A. F. Naguib, G. Xu and A. Paulray. ; Performance of CDMA commun-

ication system using antenna array. Proc. ICASSP' 93 vol.4 pp153~156 Apr.1993

- [4] Robert G. Brown. ; Introduction to random signal analysis and Kalman filtering. John wiley & sons 1983
- [5] Godard D.; Channel equalization using a kalman filter for fast data transmission. IBM. J., Res & Dev. vol. 18. No.3 pp 267~273, May 1974
- [6] Krucker K. ; Rapid interference suppression using a Kalman filter technique. IEE Proc. F & H-130. No.1. pp 36~40. feb. 1983
- [7] Bernard Widrow and Samuel D. Stearns. ; Adaptive signal processing prentice-Hall, 1985
- [8] compton R. T. ; Adaptive antennas. prentice-Hall, 1988