
Kalman 알고리즘에 의한 대역분할 · 합성형 어댑티브 어레이 안테나의 동작 특성

박재성*, 오경석*, 주창복*, 박남천*, 정주수**

Performance Characteristics of Subband Adaptive Array Antenna using Kalman Algorithm

Jae-Sung Park*, Kyung-Seak Oh*, Chang-Bok Joo*, Nam-Chon Park*, Joo-Soo Jeong**

요 약

이동체에서 어댑티브 어레이 안테나를 사용하는 경우 가중계수벡터를 진파 환경의 변화에 고속으로 적응시킬 필요가 있다.

4소자 등간격 선형 어레이 안테나 시스템에 있어서 일정 진폭의 포락선을 갖는 BPSK신호나 BFSK 신호에 대하여 신호의 자기상관성을 향상시켜 주므로서 효과적인 다중 간섭파를 제거할 수 있는 대역분할 · 합성형에 의한 신호처리 기법을 보고한다.

본 논문에서는 $S/I=2$, $S/N=10$ 인 BPSK 신호에 대하여 대역분할 · 합성형 신호처리 기법을 LMS 및 Kalman 알고리즘에 적용한 컴퓨터 시뮬레이션 결과 대역분할 · 합성형 기법을 사용하므로서 알고리즘의 수렴성이 빠르고 신호의 추종성이 매우 뛰어나함을 확인 할 수 있었다.

Abstract

At the mobile unit for adaptation the propagation environment, it is necessity to adapt very fast the weight coefficient vector of adaptive array antenna

In this paper, for the BPSK and BFSK signals with $S/I=2$, $S/N=10$ subband adaptive array signal processing method to the linear array antenna using the LMS & the Kalman filter algorithm is proposed.

* 경남대학교

** 창원전문대학

접수일자 : 1999년 7월 18일

For the 4 elements equidistance linear array antenna systems LMS and Kalman algorithms with subband adaptive instruction principles using the subband signal processing method are adopted and the computer simulation results to the constant amplitude envelope signals such as BPSK or BFSK can be seen that the convergence characteristics of directional patterns and the signal following characteristics are more fast and stable.

I. 서론

육상 이동통신에서는 이동국으로부터 송신된 전파는 부근에 존재하는 빌딩에 반사·회절을 받은 후에 기지국에 도착하므로 송신된 이동국의 신호는 다중파 없이 기지국에 도래하는 것이 불가능하다. 그러므로 다중화 처리에 관하여 이동통신 분야에서 어댑티브 어레이 기술이 주목을 받아가고 있다[1,2,3,4].

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 소망신호파의 도래방향이 미지의 경우, 혹은 강한 간섭파가 존재하는 곳에서 미약한 소망신호파를 수신하는 경우에 어레이의 각 안테나소자의 가중계수를 자동적으로 제어하는 것에 의해 소망 신호파의 도래 방향의 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 자기상관성을 향상시킬수 있는 대역분할·합성형 신호처리 기법[5]과 LMS 및 칼만필터법을 적용하여 각각의 시뮬레이션 결과에서 관찰

된 지향성 패턴의 적응성과 출력 SINR 특성을 기술한다.

II. 시스템 모델

그림 1은 4소자 선형 어댑티브 어레이안테나의 블록도를 나타내 보인 것이다[6,7].

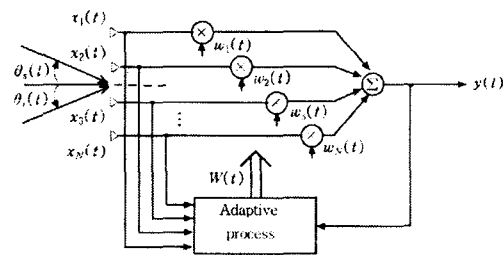


Fig. 1. Linear adaptive array processing algorithm

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 λ의 평면파가 도래하는 경우를 생각해 본다. 신호파와 간섭파가 각각 각도 θs, θi에서 도래하는 경우, k번째 어레이 소자의 수신신호는 다음과 같이 나타내진다[1,2,6,7].

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

여기서 s(t)는 신호파, i(t)는 간섭파, nk(t)는 열잡음이고 d는 안테나 소자 간격이다.

어레이의 출력신호 y(t)는 식 (2)로 주어진다.

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

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

신호파와 열잡음 및 간섭파가 상호독립의 경우

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

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

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

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

2.1 LMS 알고리즘

LMS 어댑티브 어레이는 Widrow에 의해 제안되고 Compton 등에 의해 발전되어 현재에도 연구가 계속 진행되고 있는 대표적인 알고리즘이나 기준 신호파에 의해 소망파와 간섭파를 구별하고 가중 계수의 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.

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

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

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

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

2.2 Kalman filter 알고리즘

여기서는 신호파와 간섭파 및 열잡음이 상호 독립인 경우에 대한 Kalman Filter 알고리즘[8]을 간략히 요약해 본다.

Kalman 필터에 의한 어댑티브 어레이 알고리즘의 적용은 수렴이 빠르고 고속 전송에의 대응이 가능하며 안정성이 뛰어나다는 특성이 있어[9] 멀티패스 환경하의 이동통신에의 적용에 적합한 것으로 되어 있다[10].

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

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

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

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

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

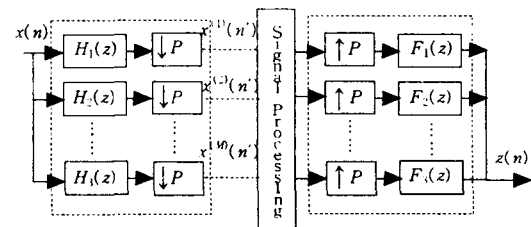
$$e(k) = d(k) - y(k)$$

여기서 $K(k)$ 는 Kalman 이득, $P(k)$ 는 추정오차 분산벡터이고 σ^2 은 랜덤 가우시안 잡음의 평균 전력을 나타낸다.

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

2.3 대역분할 · 합성형 기법

대역분할은 그림 2에 나타내었으며, 대역분할 필터와 대역합성 필터로 구성되어져있다.



Subband decomposition filter bank Subband synthesis filter bank

Fig. 2. subband signal processing by filter banks

여기서 신호 해석의 편의상 $s(t)$ 는 제한 대역 $[-B/2, B/2]$ 에 있어서 같은 전력 스펙트럼 밀도

함수 $p(f)$ 를 식(10)에 나타내었다.

$$p(f) = \begin{cases} 1, & -B/2 \leq f \leq B/2 \\ 0, & elsewhere \end{cases} \dots\dots\dots (10)$$

신호 $s(t)$ 의 자기 상관관계수 $r(\tau)$ 는 $p(f)$ 의 푸리에 변환. 즉,

$$r(\tau) = E[s(t)s^*(t-\tau)] = \sin(\pi B\tau) / \pi\tau \dots\dots (11)$$

으로 나타내어지며 $p(f)$ 을 M 분할하면, 신호 $s(t)$ 는 서브밴드 신호 $s^{(k)}(t) (k=1, 2, \dots, M)$ 로 분할된다. 대역분할을 한 각 분할 필터는 주파수 축에 있어서 스펙트럼이 중앙이 아닌 방향 형태의 전달함수를 가진다. 또한 같은 모양에서 각 합성필터도 같은 주파수 특성을 가지며, 분할필터뱅크와 합성필터뱅크로 완전 재구성 조건을 만족한다.

$$p(f) = \sum_{k=1}^M p^{(k)}(f)$$

$$p(f) = \begin{cases} 1, & -B/2 + (k-1)B/M \leq f - B/2 + kB/M \\ 0, & elsewhere \end{cases} \dots\dots\dots (12)$$

신호 $s(t)$ 와 그의 지연신호 $s(t-\tau)$ 간의 신호상관계수는 식(13)으로 나타낸다.

$$r^{(k)}(\tau) = E[s^{(k)}(t)s^{(k)*}(t-\tau)]$$

$$= (\sin(\pi B\tau/M) / \pi\tau) e^{j(\pi B\tau/M)(2k-M-1)} \dots\dots\dots (13)$$

그러므로 신호 $s(t)$ 와 지연신호 $s(t-\tau)$ 사이의 신호 상관계수는

$$\rho(\tau) = ar(\tau) / r(0) = a \sin(\pi B\tau) / \pi B\tau$$

여기서 $a(|a|=1)$ 는 전송에 의해 발생하는 위상항을 나타낸다. 그러므로 대역 분할된 신호에서 k 번째의 서브밴드 신호 $s^{(k)}(t)$ 와 그의 지연신호 $s^{(k)}(t-\tau)$ 간의 상관관계수는 다음 식과 같다.

$$\rho^{(k)}(\tau) = ar^{(k)}(\tau) / r(0)$$

$$= a \sin(\pi B\tau/M) / (\pi\tau/M) \times e^{j(2k-M-1)\pi B\tau/M}$$

따라서 필터뱅크를 사용한 대역분할·합성신호

처리에서 주파수선택성 페이딩 환경에 있어서 다중파간의 상관성을 높일 수 있다.

그림 3은 Kalman 알고리즘에 의한 대역분할·합성형 어댑티브 어레이의 블록도를 나타낸 것이다.

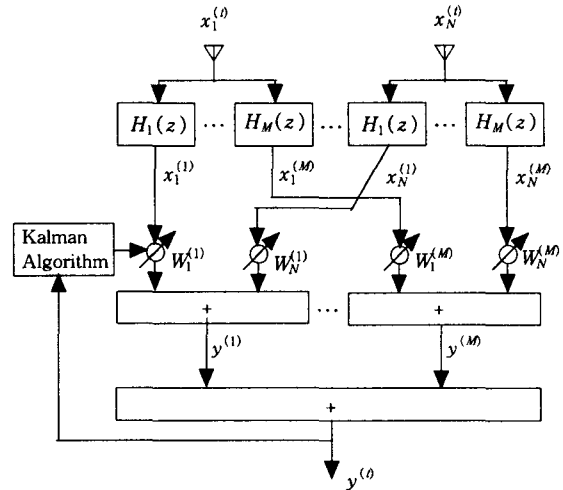


Fig. 3. A subband adaptive array using kalman filter algorithm

본 논문에서는 간단한 해석과 일반적인 Kalman filter 어댑티브 어레이와 비교를 용이하게 하기 위하여 업 샘플링과 다운 샘플링의 수(P)를 1로 하였다.

III. 시뮬레이션 결과

3.1 시뮬레이션 조건

본 논문에서는 그림 1의 4소자 선형 어댑티브 어레이안테나 시스템에 대한 대역분할·합성형 신호처리 기법과 LMS 및 Kalman filter 알고리즘에 의한 어댑티브 지향성패턴의 적응성과 출력 SINR 특성을 관찰하였다.

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 나타내었으며 subband 필터수는 4로 하였다.
- (3) 데이터의 전송속도는 128kbps의 랜덤 데이터

이며 BPSK 신호에 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 설정하였다. ($\theta_s=30^\circ$, $\theta_i=-40^\circ$, $\phi=0.2\text{ rad}$)

3.2 수렴특성

그림 4는 LMS와 Kalman filter법 및 kalman filter법에 대역분할·합성법을 적용한 경우의 출력 SINR 특성을 비교하여 보인 것이다.

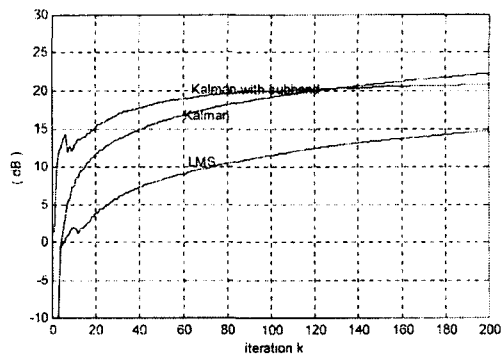


Fig. 4 Comparison of SINR characteristics

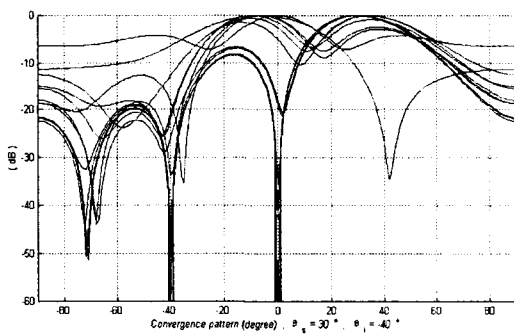


Fig. 5. Convergence patten by kalman filter algorithm(BPSK signal)

그림 5은 Kalman filter법에 의한 알고리즘의 수

렴특성과 패턴 변화를 보여주고 있다.

그림 6(a),(b)는 대역분할·합성형 신호처리 기법을 적용한 출력 SINR 특성과 수렴 패턴의 변화를 나타내었다.

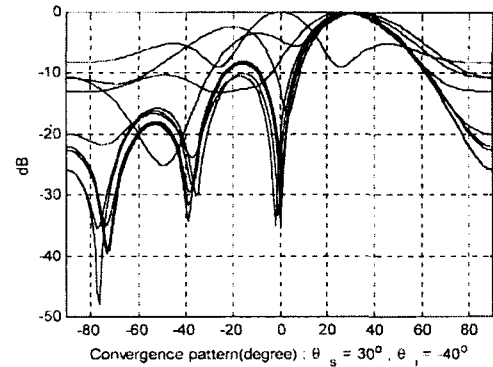


Fig. 6. Convergence pattern by kalman filter algorithm with subband filter bank

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.

또한 대역분할·합성형 신호처리에서는 지연되어 저하된 도래신호간의 신호상관을 증가시킴으로써 더 좋은 수렴특성을 나타냄을 알 수 있다. 그림 4와 5,6의 결과에서와 같이 제어 개시로부터 수렴까지의 안테나 배열의 지향성 변화를 보면 대역분할·합성형 신호처리 기법을 사용하는 경우 제어 개시 후 안테나의 지향성 패턴이 빠르게 신호파의 도래 방향으로 이동하고 있고 5회 이내의 반복 계산만으로 신호파의 도래 방향에 최대 지향성 패턴이 형성되고 있으며, 이것은 SINR의 수렴 특성도 일치하고 있음을 알 수 있다.

반면 영점(null point)의 깊이는 그림 5에서와 같이 비분할 Kalman 알고리즘의 경우가 크게 나타나고 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 Kalman filter법을 사용한 대역분

할·합성형 어댑티브 어레이 안테나의 신호처리 기법을 제안하였다.

이 신호처리 기법에서는 주파수 선택성 페이딩 환경에 있어서 지연되어 저하된 도래신호간의 신호상관을 증가시켜 주파수 선택성 페이딩을 대폭 경감시킬 수 있어 어댑티브 어레이 안테나 시스템의 신호 추종성과 알고리즘의 수렴성, 안정성을 향상시킬 수 있다.

4소자 등간격 선형 어레이안테나 시스템에 대하여 일정 진폭의 포락선을 갖는 BPSK신호에 적용한 결과 대역분할·합성형 신호처리 기법을 추가 적용시킴으로써 보다 빠른 수렴성과 신호의 추종성이 뛰어난 것을 확인 할 수 있다.

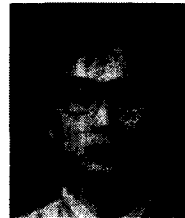
컴퓨터 시뮬레이션 결과 대역분할·합성형 신호처리 기법에 의한 적응배열 안테나는 매우 빠른 수렴 특성을 보인다. 이러한 결과는 전파환경이 시간적으로 급속히 변화하는 경우에도 정확한 적응 제어가 행해질 수 있음을 의미한다.

참고문헌

- [1] W.C. Lee, "Mobile Communication Engineering," McGraw-Hill, 1982.
- [2] Jinkuan Wang, Tadashi Takano ; Investigation on adaptive antennas using a Kalman Filter. IEICE, vol. J75-B-II No.11, pp 835~842, 1992
- [3] 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
- [4] 박 재성, 오 경석, 주 창복, 박 남천, 정 주수 "Kalman filter법에 의한 어댑티브 어레이 안테나" 한국해양정보통신학회 춘계대회, Vol. 3. No. 1, pp39~42, 1999, 5.
- [5] Y. Zhang, K. Yang and M. G. Amin "Performance analysis of subband adaptive arrays in multipath propagation environments" Proc. 9th IEEE signals processing workshop on statistical signal and array signal

processing. portland. pp17~20 sept. 1998.

- [6] Bernard Widrow and Samuel D. Stearns. ; Adaptive signal processing prentice-Hall, 1985
- [7] compton R. T. ; Adaptive antennas. prentice-Hall, 1988
- [8] Robert G. Brown. ; Introduction to random signal analysis and Kalman filtering. John wiley & sons 1983
- [9] B. Suard, A. F. Naguib, G. Xu and A. Paulray. ; Performance of CDMA communication system using antenna array. Proc. ICASSP' 93 vol.4 pp153~156 Apr.1993
- [10] Krucker K. ; Rapid interference suppression using a Kalman filter technique. IEE Proc. F & H-130. No.1. pp36~40. feb. 1983



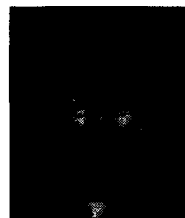
박 재 성(Jae-Sung Pak)

1972년 9월 14일생

1997년 2월 경남대학교 전자공학과졸업(공학사)

2000년 2월 경남대학교 전자공학과 석사 졸업예정

*주관심분야: 이동통신, 디지털통신알고리즘, 인텔리전트통신신호처리시스템



오 경 석(Kyung-Seak Oh)

1967년 12월 2일생

1993년 2월 경남대학교 전자공학과졸업(공학사)

1996년 2월 경남대학교 전자공학과졸업(공학석사)

1999년 2월 경남대학교 전자공학과 박사 수료

*주관심분야: 이동통신, 디지털통신알고리즘, 인텔리전트통신신호처리시스템



주 창 복(Chang-Bok Joo)

1951년 10월 5일생
1975년 2월 한국 항공대학교 전자공학과졸업(공학사)
1977년 2월 고려대학교 전자공학과 졸업(공학석사)

1987년 2월 고려대학교 전자공학과 졸업(공학박사)
1981년 3월~현재 경남대학교 전기전자공학부교수
1989년 일본 상지대 전기전자공학과 연구교수
1992년 미국 일리노이주립대학시카고고교전기전자 및 컴퓨터공학과 객원교수

*주관심분야: 디지털통신알고리즘, 인텔리전트통신 신호처리시스템



박 남 천(Nam-Chon Park)

1978년 2월 경북대학교 전자공학과졸업(공학사)
1980년 2월 경북대학교 전자공학과졸업(공학석사)
1987년 2월 경북대학교 전자공학과졸업(공학박사)

1980년 3월 경남대학교 전기전자공학부 교수
1994년 미국 Rensselaer Polytechnic Institute 객원 교수

*주관심분야: Multirate Digital Signal Processing



정 주 수(Joo-Soo Jeong)

1963년 2월 3일생
1987년 2월 경남대학교 전자공학과졸업(공학사)
1991년 2월 경남대학교 전자공학과졸업(공학석사)

1997년 2월 경남대학교 전자공학과졸업(공학박사)
1996년 3월~현재 창원전문대학 정보통신계열 전자통신전공 전임강사

*주관심분야: 안테나 및 전자파신호처리, 무선통신, 통신회로설계