

## RLS알고리즘에 의한 어댑티브 어레이 안테나의 특성

정 주 수\* 오 경 석\*\*

### Adaptive array antenna of Characteristics using RLS algorithm

Joo-soo Jeong\* Kyung-seak Oh\*\*

#### 요 약

무선 이동체에서 어댑티브 어레이 안테나를 적용하는 경우 가중계수벡터를 전파 환경의 변화에 빠르게 적응시키는 것이 중요하다.

4소자 등간격 선형 어레이 안테나 시스템에 대하여 일정 진폭의 포락선을 갖는 BPSK 신호에 LMS 와 RLS 알고리즘을 컴퓨터 시뮬레이션에 적용시켜 본 결과 LMS 알고리즘의 수렴 특성에 비하여 RLS 알고리즘의 수렴 특성이 매우 뛰어난 것을 알 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

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

---

\* 창원전문대학 전자통신과 조교수  
\*\* 항공기능대학 항공전자과 전임강사

## I. 서론

무선 이동통신에서는 이동국으로부터 송신된 전파는 부근에 존재하는 빌딩에 반사·회절을 받은 후에 기지국에 도착하므로 송신된 이동국의 신호는 멀티패스파(multipass wave)의 간섭없이 기지국에 도래하는 것이 불가능하다. 멀티패스파 처리에 관하여 이동통신 분야에서 어댑티브 어레이 기술이 주목을 받아가고 있다 [1,2,3,4,5].

일반적으로 어댑티브 어레이는 공간적으로 분산 배치된 복수의 안테나 소자의 수신신호에 진폭과 위상을 갖는 복소량인 가중계수를 곱하여 합한 신호를 안테나 시스템의 출력으로 된다.

어댑티브 어레이의 중요한 목적은 원하는 신호성분과 원하지 않는 신호성분 사이의 상관성을 떨어뜨리므로써 DUR (desire to undesire ratio)를 증가시키는 것이다.

즉 어댑티브 어레이 안테나는 희망 신호파의 도래방향이 미지일 경우나, 또는 강한 간섭파가 존재하는 곳에서 미약한 희망 신호파를 수신하는 경우에 어레이의 각 안테나소자의 가중계수를 자동적으로 제어하는 것에 의해 희망 신호파의 도래방향을 변화에 빠르게 적응 할 수 있게 함으로써 강한 지향성을 형성하고 방해 간섭파 방향에서는 영점(null point)을 형성케 하므로써 수신신호의 SINR를 최대화 시키는 안테나 시스템이다. [4,5]

본 논문에서는 4소자 선형 어댑티브 어레이안테나 구조에 LMS와 RLS(Recursive Least Squar e) 알고리즘을 적용할 때 관찰된 지향성 패턴의 적응성과 출력 SINR 특성을 기술한다.

## II. 시스템 모델

그림 1은 4소자 선형 어댑티브 어레이 안테나의 블록

도를 나타내 보인 것이다[6,7].

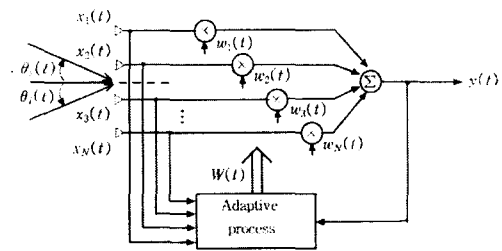


그림 1. 선형 어댑티브 어레이 처리 알고리즘  
Fig. 1. Linear adaptive array processing algorithm

어댑티브 어레이 안테나에서 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].

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

$k = 1, 2, \dots, N$

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.

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

여기서 wk(t)는 k번째 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 Rss, Rii, Rnn는 각각 신호파, 간섭파 및 열잡음의 자기상관 행렬을 나타낸다. 그러므로

어레이 출력에서 SINR  $\gamma$ 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 기준 신호파에 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 가중계수 벡터  $W(k)$ 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 RLS 알고리즘

여기서는 신호파와 간섭파 및 열잡음이 상호 독립인 경우에 대한 RLS 알고리즘[4,5]을 간략히 요약해 본다.

RLS에 의한 어댑티브 어레이 알고리즘의 적용은 수렴이 빠르고, 안정성이 뛰어나다는 특성이 있어 멀티패스 환경하의 이동통신에의 적용에 적합한 것으로 되어 있다[6].

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

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

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

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

$$y(k) = W^T(k-1)X(k)$$

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

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

여기서  $K(k)$ 는 이득 벡터,  $P(k)$ 는 신호상관함수,  $\sigma^2$ 은 랜덤 가우시안 잡음의 평균 전력이고,  $\lambda$ 는 망각 계수( $\lambda < 1$  ( $0.95 < \lambda < 1$ ))를 나타낸다.

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

## III. 시뮬레이션 결과

### 3.1 시뮬레이션 조건

본 논문에서는 그림 1의 4소자 선형 어댑티브 어레이 안테나 시스템에 대한 LMS 알고리즘과 RLS 알고리즘에 의한 어댑티브 지향성패턴의 적응성과 출력 SINR 특성을 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 신호에 대한 가중계수의 경신 주기는 10msec로 하였다.
- (4) 신호대 랜덤 가우시안 잡음의 평균 전력비는 S/N=10, 신호파 대 간섭파의 전력비는 S/I=2로 하였다.
- (5) 간섭파의 지연 위상은  $\phi$ 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  $\theta_s = 40^\circ$ ,  $\theta_i = -10^\circ$ ,  $\phi = 0.2 \text{ rad}$
  - ③  $\theta_s = 50^\circ$ ,  $\theta_i = -40^\circ$ ,  $\phi = 0.2 \text{ rad}$

3.2 수렴특성

그림 2는 LMS와 RLS 알고리즘의 수렴성을 비교하여 보인 것이다.

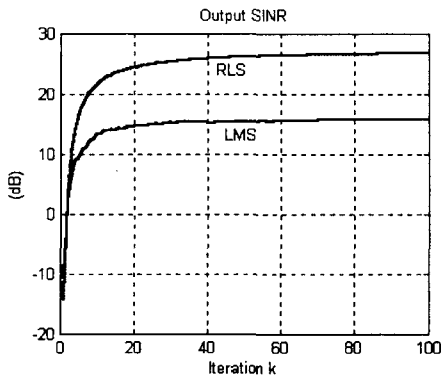
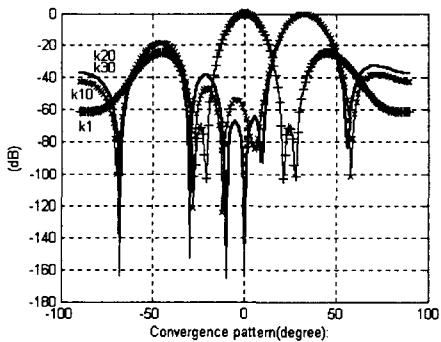
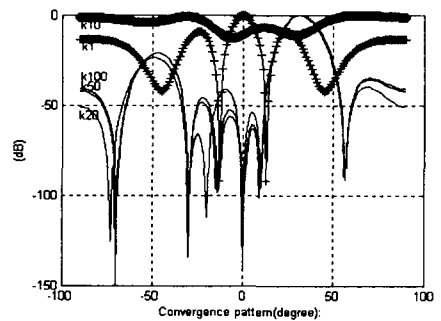


그림. 2. SINR의 특성 비교  
Fig. 2. Comparison of SINR characteristics



(a) RLS의 수렴 패턴  
(a) Convergence pattern of RLS  
( $\theta_s = 30^\circ, \theta_i = -10^\circ$ )



(b) LMS의 수렴 패턴  
(b) Convergence pattern of LMS  
( $\theta_s = 30^\circ, \theta_i = -10^\circ$ )

그림. 3. 알고리즘 특성(RLS, LMS)  
Fig. 3. Characteristics of algorithm(RLS, LMS)

그림 3은 RLS 및 LMS에 의한 알고리즘의 수렴 특성을 지향성 패턴으로 보여주고 있다.

LMS에서 가중계수벡터의 경신속도는 오차신호의 크기에 의해 결정되는데 비해 RLS에서는 입력신호 벡터의 상관행렬에 의해 제어되고 있다. 이 차이가 수렴속도에 크게 영향을 주는 것으로 생각된다.

그림 2와 3의 결과로부터 RLS 알고리즘은 LMS와 비교해서 대단히 빠르게 수렴하고 있는 것을 볼 수 있다. 제어 개시로부터 수렴까지의 안테나 배열의 지향성 변화를 보면 RLS의 경우 제어 개시후 안테나의 지향성 패턴이 빠르게 신호파의 도래 방향으로 이동하고 있고 10회 이내의 반복 계산만으로 신호파의 도래 방향에 최대 지향성과 간섭파 방향에 영점(null point) 패턴이 형성되고 있다.

또한 지향성 패턴의 수렴 특성에서 RLS은 그 적응성이 매우 빠르고 안정되어 있다. 반면 LMS에서의 수렴 특성은 RLS에 비하여 매우 느린데 이것은 SINR의 수렴 특성파도 일치하고 있음을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 RLS와 LMS 알고리즘을 적용한 어댑티브 어레이 안테나 시스템의 신호 추종성과 알고리즘의 수렴성, 안정성 등에 관한 컴퓨터 시뮬레이션을 행하였다.

4소자 등간격 선형 어레이 안테나 시스템에 대하여 일정 진폭의 포락선을 갖는 BPSK 신호에 적용하여 컴퓨터 시뮬레이션 결과 RLS 알고리즘이 LMS 알고리즘에 비하여 수렴성과 신호의 추종성이 매우 뛰어난 것을 확인할 수 있었으며, 또한 RLS 알고리즘에 의한 적응배열 안테나는 매우 빠른 수렴 특성을 보였다. 이러한 결과는 전파환경이 시간적으로 급속히 변화하는 경우에도 정확한 적응제어가 행해질 수 있음을 의미한다.

지향성 패턴의 수렴 특성은 SINR의 수렴 특성에서 나타난바와 같이 LMS 알고리즘의 수렴 특성에 비하여 RLS 알고리즘의 적응성이 매우 빠르고 안정되어 있음을 알 수 있었다.

**참고문헌**

- [1] Jinkuan Wang, Tadashi Takano : Investigation on adaptive antennas using a Kalman Filter. IEICE, vol. J75-B-II No.11, pp835~842, 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. pp277~285. 1993
- [3] 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
- [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] 박 재성, 오 경석, 주 창복, 박 남천, 정 주수 "Kalman 알고리즘에 의한 대역분할·합성형 어댑티브 어레이 안테나의 동작 특성" 한국해양정보통신학회지, Vol. 3, No. 3, 501~507, 2000, 2
- [6] Bernard Widrow and Samuel D. Stearns.: Adaptive signal processing prentice-Hall, 1985
- [7] compton R. T. : Adaptive antennas, prentice-Hall, 1988

**저자 소개**



**정 주 수**  
 1987년 경남대학교 전자공학과 (공학사)  
 1991년 경남대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1997년 경남대학교 전자공학과 (공학박사)  
 1996년~현재 창원전문대학 전자통신과 조교수  
 관심분야 : 안테나 및 전자파신호처리, 무선통신



**오 경 석**  
 1993년 경남대학교 전자공학과 (공학사)  
 1996년 경남대학교 전자공학과 (공학석사)  
 2001년 경남대학교 전자공학과 (공학박사)  
 2002년~현재 항공기능대학 항공전자과 전임강사