

---

# LMS 추정기를 이용한 적응 배열 안테나 기지국 시스템의 성능 평가

이미진<sup>\*</sup> · 하정우<sup>\*</sup> · 변건식<sup>\*</sup>  
<sup>\*</sup>동아대학교

## Performance Analysis of the Adaptive Array Antenna Base Station System using LMS Estimator

Mi-jin Lee<sup>\*</sup> · Jung-woo Ha<sup>\*</sup> · Kun-sik Byon<sup>\*</sup>  
<sup>\*</sup>Donga University  
E-mail : ksbyon@dau.ac.kr

### 요 약

이동 통신 환경은 다중로 전파에 의해 ISI가 발생할 수 있으며 채널을 주기적으로 추정하기 위해 적응 알고리즘이 필요하며, 또한 적응 알고리즘을 이용한 배열 안테나는 전통적인 안테나에 비해 같은 면적을 처리할 때 시스템 용량과 성능, 처리 범위 등을 향상시킬 수 있다. 본 논문에서는 여러 가지 LMS 적응 알고리즘 종류를 비교 설명하고, 다중로와 다중 사용자가 존재할 때, 적응 배열 안테나 기지국 시스템을 LMS로 구현하여 성능을 평가한다. 시뮬레이션 결과, 적응 배열 안테나 시스템은 희망 신호를 선택하고, 간섭을 제거하기 위해 안테나 패턴을 조정할 수 있음을 확인하였다.

### ABSTRACT

In mobile environments, there is more than one propagation path between each transceiver and Receiver. Delayed multipath signals can cause ISI and Receiver needs an adaptive algorithm to estimate a channel periodically. Also adaptive antenna using adaptive algorithm provides a significant increase in capacity, performance and coverage. This paper describes various LMS algorithms and evaluates the performance of array antenna Base station by using LMS algorithm in the presence of multipath signals and multiple users. As a result of simulation, Adaptive array antenna systems are able to adjust their antenna pattern to select desired signals, and reduce interference.

### 키워드

LMS 추정기, 적응 배열 안테나, 적응 등화

### 1. 서 론

대부분의 이동채널에서 다중로 성분은 서로 다른 위상으로 도달하기 때문에 ISI와 페이딩을 유발하게 되며, ISI와 페이딩은 적응 등화 알고리즘을 사용한 배열 안테나를 사용하여 줄일 수 있다.[1]

지금까지의 적응 등화 알고리즘은, 표준 LMS 및 탭 검출 LMS 알고리즘을 사용하여 다중로에 의해 생긴 ISI 효과를 제거해 왔으며, 이 알고리즘은 미지의 통신채널을 FIR 필터로 모델하고, 적응 등화기를 IIR 필터로 모델하였다.

본 논문에서는 FIR 등화기가 IIR 등화기 보다 안정도가 더 우수하기 때문에, 미지의 통신 채널

을 IIR 필터로 모델하고 적응 등화기를 FIR 필터로 모델하여 각종 LMS 알고리즘을 비교 평가한다. 또한 LMS 알고리즘을 적응 배열 안테나 기지국 시스템에 적용하여, 다중로와 다중 사용자가 존재할 때 안테나 시스템의 성능을 조사하고, 시스템이 여러 가지 시간 지연에서 여러 방향으로 도달하는 다중로 성분 사이를 구별할 수 있고, 또한 같은 시간에 도달하는 다른 방향에서의 다중로 사이를 구별할 수 있는가를 조사하여 성능을 평가한다.

## II. LMS 적응 FIR 필터

제안한 LMS 적응 FIR 필터는 먼저 입력 탭 조합으로 생긴 FIR 필터의 출력을 계산하고, 이 출력을 기지의 학습 계열과 비교함으로써 오류를 추정하며, 다음에 먼저 계산된 오류 추정에 따라 필터의 탭 무게를 자동 조절하는 적응 과정으로 구성된다.[2] 본 논문에서 사용하는 적응 등화 시스템은 그림 1과 같다.

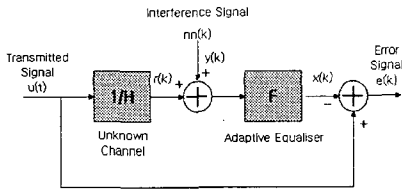


그림 1. 제안된 적응 등화기 시스템 구성도

$u(k)$ 는 송신 신호,  $nn(k)$ 는 간섭 신호,  $r(k)$ 는 미지 채널  $1/H$ 의 출력,  $y(k)$ 는 수신 신호이다.  $x(k)$ 는 등화기 출력 신호이며,  $e(k)$ 는  $x(k)$ 와 원래의 송신 신호  $u(k)$ 에 대한 오류 신호이다.

등화기 역할은 채널 왜곡을 보상하고 부가 잡음의 효과를 최소화하는 것이며, 전체적인 등화기 전달 함수는  $F/H=1$ 로 채널 특성을 보상한다.

### 1. 표준 LMS 알고리즘

표준 LMS 알고리즘은 MSE  $e^2(k)$ 가 최소가 되도록 FIR 등화기의 계수를 조정하는 것이지만, MSE는 많은 양의 메모리가 필요하므로, MSE 평면의 그라디언트를 추정하기 위해 순시 에러  $e(k)$ 를 사용한다.[2] FIR 등화기의 표준 LMS 식은 다음과 같다.[2]

$$F(k) = F(k-1) + \mu Y(k)e(k) \quad (1)$$

여기서  $\mu$ 는 스텝 크기이며,  $Y(k)$ 는 수신 신호이다.  $F$ 의 자승 에러는  $(H-F)^2$ 이며, LMS 알고리즘의 안정도와 수렴율에 영향을 주는 중요한 파라미터는 스텝 크기  $\mu$ 이다.

### 2. 탭 검출 LMS 알고리즘

표준 LMS 알고리즘은 모든 임펄스 응답 탭을 활성으로 간주하기 때문에 임펄스 응답을 나타내기 위해 FIR 필터를 사용할 때 문제가 발생하며, 결과적으로 계산 시간이 길고 수렴율과 성능을 열화 시킨다.

참고 문헌 [3]에서는 활성 탭만을 검출하고 활성 탭으로만 LMS를 추정할 목적으로 활성 탭 검출 기술을 제안하였다. 따라서 추정 탭 수를 줄임으로서, 수렴이 빠르며 정확도를 증가시킬 수 있다. 탭 검출 LMS 알고리즘은 식(2)와 같다.[4]

$$F_j(k) = g(j)F_j(k-1) + g(j)\mu y(k-j+1)e(k) \quad (2)$$

### 3. 정규화된 LMS (NLMS) 알고리즘

LMS 알고리즘의 성능은 스텝 크기에 종속된다. NLMS 알고리즘은 스텝 크기  $\mu$ 를 탭 수와 신호 전력으로 정규화하여 사용하며 식(3)과 같다.

$$\mu \rightarrow \frac{\mu}{n\sigma_u^2}, \quad \hat{\sigma}_u^2: \text{입력 신호의 전력} \quad (3)$$

탭 검출 LMS 알고리즘에서는  $\mu$ 를 활성 탭 수  $\hat{m}$ 과 신호 전력으로 정규화하여 사용하며 식(4)와 같다.

$$\mu_{norm} = \frac{\mu_0}{\hat{m}\sigma_u^2} \quad (4)$$

## III. 적응 배열 안테나 시스템

각도  $\theta$ 로 입사하는 신호를 수신하는 선형 적응 배열 안테나는 그림2와 같다.  $m$ 번째 안테나의 수신 신호는 식(5)와 같다.[6]

$$r_m(t) = u(t)\exp(-j2\pi(m-1)dsin\theta/\lambda) \quad (5)$$

배열 안테나의 출력 신호  $x(t)$ 는 식(6)과 같다.

$$x(t) = \sum_{m=1}^M w_m r_m(t) = Au(t)f(\theta) \quad (6)$$

여기서  $w_m$ 은 무게값이며,  $f(\theta)$ 는 배열 인자로서 식(7)과 같다.

$$f(\theta) = \sum_{m=1}^M w_m e^{-j(2\pi(m-1)/\lambda)dsin\theta} \quad (7)$$

배열 안테나에 잡음이 추가될 때 수신 신호는 식(8)과 같고, 캐리어 주파수가  $f_c$ 일 때의 수신 신호는 식(9)와 같다.

$$y_m(t) = r_m(t) + nn_m(t) \quad (8)$$

$$r_m(t) = Au(t)e^{-j(2\pi(m-1)/\lambda)dsin\theta} e^{-j(2\pi f_c T)} \quad (9)$$

여기서  $T$ 는 전파 시간이며 배열 안테나 출력

은 식(10)과 같다.

$$x(t) = w^H y(t) \tag{10}$$

여기서  $w^H$ 는 배열 안테나의 무게 벡터이며,  $y$ 는 잡음성 데이터 벡터이며  $H$ 는 Hermitian 전치이다.

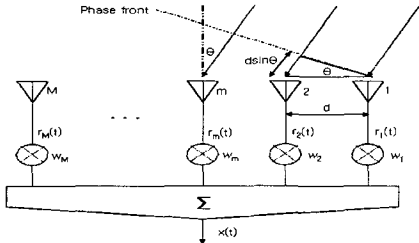


그림 2. M개의 선형 등 간격(d) 배열 안테나

그림 3은 적응 배열 안테나 시스템의 구조이며, 신호의 무게 벡터를 반복적으로 조정하여 소자 출력의 위상과 진폭을 제어한다.

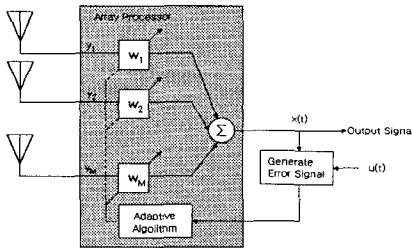


그림 3. 적응 배열 안테나 시스템

안테나의 위상 즉 빔 패턴을 조정하는 방법은 많이 있다.[5-7] 그러나 이러한 방법은 채널 환경을 고려하지 않은 방법으로 실제의 채널 환경은 시간에 증속으로 변하므로 무게 벡터는 환경에 따라 주기적으로 갱신되어야 한다. 이러한 이유로 LMS 알고리즘[5]이 사용되며, 본 논문에서는 적응 배열 안테나를 시뮬레이션 하는데 LMS 알고리즘을 사용한다.

적응 배열 안테나에서 사용하는 LMS 알고리즘은 식(11)과 같다.

$$w(t+1) = w(t) + \mu y(t) e^*(t) \tag{11}$$

#### IV. 시뮬레이션 및 결과

##### 1. LMS 알고리즘의 시뮬레이션

시뮬레이션에서 백색 입력은  $u(k) = w(k)$ , 유색 입력은  $u(k) = w(k)/(1 - 0.8z^{-1})$ 를 사용하였으며 시스템 파라미터는, 신호 및 간섭 전력  $\sigma_u^2 = \sigma_{in}^2 = 0.1$ , 간섭은 평균 0인 백색 가우시언 신호, 샘플 수  $N=5000$ ,  $\mu=0.008$ , 탭 길이 25이

며 채널의 임펄스 응답은  $h_0=1$ ,  $h_5=0.6$ ,  $h_{10}=0.36$ ,  $h_{15}=0.216$ ,  $h_{20}=0.1296$ 이다. 표준 LMS 및 탭 검출 LMS의 시뮬레이션 결과는 표 1과 같고 NLMS 알고리즘의 결과는 표 2와 같다.

표 1. LMS 등화 결과 요약

입력의 종류	백색 입력		유색 입력	
	표준 LMS	탭 검출 LMS	표준 LMS	탭 검출 LMS
MSE	0.004	0.0004	0.0019	0.00009
샘플 간격 0.01	1000	1060	1400	1000
검출된 활성 탭	25	5	25	5

표 2. NLMS 등화 시뮬레이션 결과 요약

입력의 종류	백색 입력		유색 입력	
	표준 NLMS	탭 검출 NLMS	표준 NLMS	탭 검출 NLMS
MSE	0.0019	0.0004	0.0009	0.00019
샘플 간격 0.01	2090	2000	3600	1030
검출된 활성 탭	25	5	25	5

표 1에서 백색 입력 및 유색 입력 모두 탭 검출 알고리즘이 우수한 성능을 나타내며, 표 2에서도 탭 검출 NLMS가 표준 LMS보다 성능이 우수함을 확인할 수 있다.

#### 2. 배열 안테나 시뮬레이션

##### (1) 1 경로, 1 신호(입사각 $\theta=60^\circ$ ) 경우

그림 4.1과 그림 4.2는 시뮬레이션 결과이며 자승 에러는 54 샘플에서 수렴하며 약 0.0006이고,  $60^\circ$  방향으로 주 빔을 형성함을 알 수 있다.

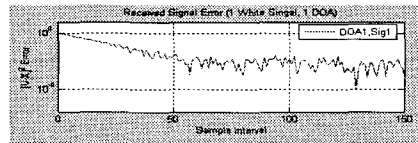


그림 4.1. 1 경로, 1 신호의 자승 에러

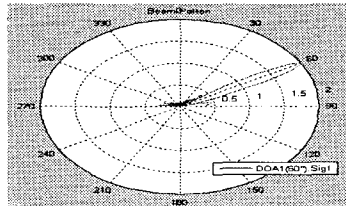


그림 4.2. 1 경로, 1 신호, 입사각  $60^\circ$ 의 빔 패턴

##### (2) 3 경로, 1 신호(입사각 $60^\circ, 30^\circ, -20^\circ$ ) 경우

그림 4.3과 그림 4.4는 시뮬레이션 결과이며, 0.01에 수렴하기 위한 각 다중로의 샘플 수는 38, 22, 9이며 평균은 0.005, 0.0015, 0.00034이다.

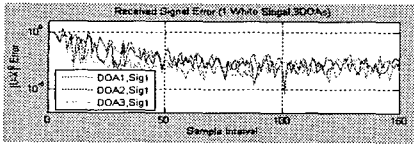


그림 4.3. 3 경로, 1 신호의 자승 에러

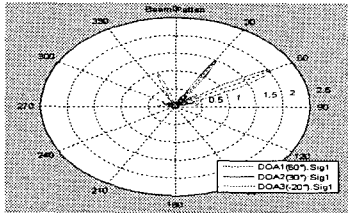


그림 4.4. 3 경로, 1 신호의 빔 패턴

(3) 2 경로, 2 신호(입사각  $60^\circ, -20^\circ$ ) 경우 이 경우는 한 샘플 떨어진 두 개의 다중로를 가진 하나의 신호를 전송하는 것과 같다. 그림 4.5와 그림 4.6은 시뮬레이션 결과를 보여준다.

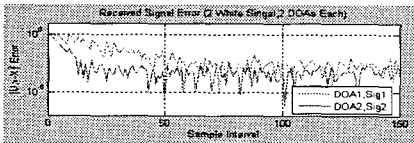


그림 4.5. 2 경로, 2 신호의 자승 에러

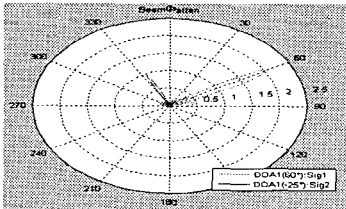


그림 4.6. 2 경로, 2 신호의 빔 패턴

(4) 각각 3 경로의 2 신호의 경우

이 경우의 시뮬레이션은 가장 복잡하며 예상하지 못한 결과를 준다. 이 경우, 2 신호에 각각 3 경로를 가지지만 각 신호의 두 번째와 세 번째 다중로 성분은 첫 번째 다중로 성분보다 한 샘플 뒤 안테나에 도래하도록 설정한다. 즉 두 번째와 세 번째 다중로는 시간은 같지만 다른 방향으로 기지국에 도래한다. 그림 4.7에서 신호에 각각 3 개의 경로가 있지만 단지 자승 에러는 두 개만 보인다. 그 이유는 2와 3 경로의 무게 벡터는 같은 시간에 도래하기 때문에 같아서 단지 4개의 무게 벡터만이 존재하기 때문이다. 또한 첫 신호의 첫 경로의 평균 자승 에러는 약 0.003에 있는 3 경로, 1 신호의 경우와 같다.

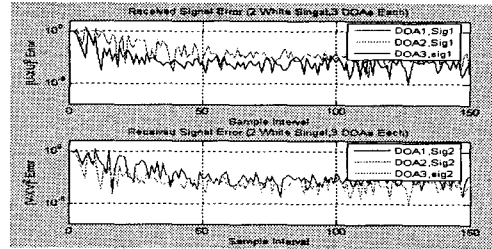


그림 4.7. 각각 3 경로의 2 신호의 자승 에러

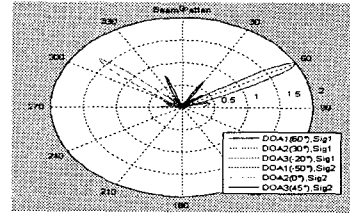


그림 4.8. 각각 3 경로의 2 신호의 빔 패턴

V. 결 론

각종 LMS 알고리즘을 비교 평가 하였으며, 시뮬레이션 결과, 백색 입력 및 유색 입력 모두 탭 검출 알고리즘이 우수한 성능을 나타내며, 탭 검출 NLMS가 표준 LMS보다 성능이 우수함을 확인할 수 있다.

또한 LMS 알고리즘을 적용 배열 안테나에 적용하여 시뮬레이션 한 결과 같은 시간에 도래하는 신호를 제외하고는 모든 방향의 입사파를 추정할 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

- [1] Rappaport, T.S, Wireless Communications : Principles & Practice, Prentice-Hall, 1966
- [2] Haykin, S, Adaptive Filter Theory, Third Editions, Prentice\_Hall, pp 365-405, 1966
- [3] Homer, "Detection Guided NLMS Estimation of Sparsely Paramertized Channels", IEEE Cicut and Systems, Vpl.47, No.12, pp.1437-1442, 2000
- [4] Homer, J, "LMS Estimation via Structural Detection", IEEE Signal Processing, Vol.46, No.10, pp2651-2663, 1998
- [5] Nobuyoshi Kikuma, Adaptive Signal Processing with Array Antenna, Science and Technology Publishing Company, Inc. 1999
- [6] Triceps 출판사, 배열 안테나, 2001
- [7] Joseph C.Liberti and Theodore S.Rappaport, "Smart Antenna For Wireless Communications", Pearson Education, Inc. 2002