

스마트 안테나를 위한 블록 LMS 기반 적응형 빔형성 알고리즘[†]

Block LMS-Based Adaptive Beamforming Algorithm for Smart Antenna

오 정 근*, 김 성 훈*, 유 관 호**

* 성균관대학교 정보통신공학부 (전화: (031) 290-7984, E-mail : ojkorea@skku.edu)

** 성균관대학교 정보통신공학부 (전화: (031) 290-7148, E-mail : khyou@ece.skku.ac.kr)

Abstract : In this paper, we propose an adaptive beamforming algorithm for array antenna. The proposed beamforming algorithm, based on Block LMS (Block - Least Mean Squares) algorithm, has a variable step size from coefficient update. This method shows some advantages that the convergence speed is fast and the calculation time can reduced using a block LMS algorithm from frequency domain. As the adaptive parameter approaches a stationary state, it could reduce the number of filter coefficient update with the help of various step size. In this paper we compared the efficiency of the proposed algorithm with a standard LMS algorithm which is a representative method of adaptive beamforming.

Keywords : Smart Antenna, Block LMS Algorithm, Adaptive filter, Beamforming

1. 서론

이동통신 시스템은 본 사용자가 다른 사용자의 신호에 의해 간섭을 받게 된다. 이는 스마트 안테나기술, 즉 배열 안테나를 사용하여 동일한 기지국내에서 각 사용자에게 전파를 집중시키는 빔형성(Beamforming) 알고리즘으로써 개선되어질 수 있다[1]. 다른 가입자의 간섭신호를 저하시켜 송수신하는 이 방법은 통화 채널 간 간섭신호를 최소화 할 수 있는 장점을 지니고 있기 때문에 용량(셀 당 사용자수)을 증가시키게 된다.

LMS 알고리즘은 비교적 복잡한 계산을 요구하지 않기 때문에 다양하게 응용되어진다. 즉, 적응형 필터로써 시스템 식별 및 안테나 빔형성에 널리 사용된다. 그러나 LMS 알고리즘은 확률적으로 계산되는 gradient 알고리즘이기 때문에, 스텝 사이즈의 알맞은 선택이 안정되고 빠른 수렴을 위하여 매우 중요하다. 스텝 사이즈가 작으면 안정된 상태를 유지하지만 수렴 속도는 늦어진다. 반면, 큰 스텝 사이즈는 빠른 수렴 속도를 갖지만 안정된 상태를 갖지 못한다.

그 동안 적응형 필터인 LMS 알고리즘의 안정성 및 수렴속도에 관한 많은 연구가 이루어 졌다[2-5]. 그 중에서 가변 스텝 사이즈 알고리즘과 최적 스텝 사이즈 수열을 이용한 알고리즘은 수렴속도와 정상상태 오차 사이의 상관관계를 해결하고자 하였다. 가변 스텝 사이즈 알고리즘은 고정 스텝 사이즈를 이용할 때 보다 수렴속도와 정상상태에서의 오차를 개선 할 수 있다. 하지만 스텝 사이즈 갱신을 위해 부가적인 계산 량이 요구된다. 계산량 감소를 위한 Block-LMS 알고리즘은

입력데이터를 블록 구간으로 나누고 블록의 관측구간의 끝에서 MSE (Mean Square Error)를 최소화 하는 스텝 사이즈를 그 블록의 최적 스텝 사이즈로 선택한다[9]. 이 방법은 적응형 필터가 정상상태에 접근함에 따라 가중치 갱신에 따른 오차가 크게 변하지 않으므로 가중치 갱신을 매회 샘플마다 하지 않아도 필터 성능에는 큰 변화가 없다는 장점이 있다.

본 논문에서는 각 블록에서의 알맞은 스텝 사이즈 조정을 위해서 역탄젠트(arctangent)로 정규화된 가변 스텝 사이즈 알고리즘을 제안하였다. 수렴속도와 정상상태의 오차를 기존 LMS 알고리즘과 비교 분석한다.

II. Block LMS 알고리즘

1. Standard LMS 알고리즘

먼저 안테나에서 수신된 신호를 고려한다. 그림 1은 적응형 알고리즘 배열안테나의 블록도를 나타낸다.

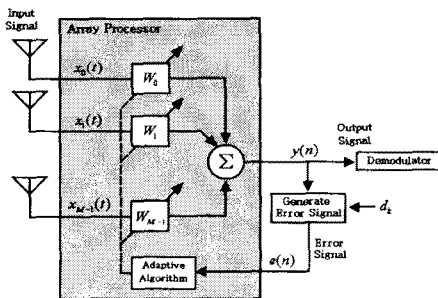


그림 1. 적응형 배열 프로세서
Fig. 1. Adaptive Array Processor

[†] 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 (R05-2003-000-12262-0) 지원으로 수행되었음.

N개 센서의 한 배열에 들어오는 신호가 M개라 할 때, 수신된 신호의 데이터 벡터 $x(t)$ 는 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$x(t) = \sum_{k=1}^M s_k(t) a(\theta_k) + n(t), \quad t=1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

이 때, 입력 신호 벡터는 $x(t) = [x_0(t), x_1(t), \dots, x_{N-1}(t)]^T$ 이고, $s_k(t)$ 는 k번째 주파수 대역의 신호이다. $n(t)$ 는 n번째 안테나에 추가된 가우시안 잡음 (additive Gaussian noise)이고, 입사각이 θ 인 신호의 방향 벡터는 $a(\theta_k) = [a_1(\theta_k), a_2(\theta_k), \dots, a_N(\theta_k)]^T$ 과 같이 표현된다. 이때 안테나의 출력은 다음과 같다.

$$y = w^H x \quad (2)$$

다음으로 빔형성 가중치 갱신을 위한 standard LMS 알고리즘을 다음과 같이 나타낸다[6].

$$\hat{w}(n+1) = \hat{w}(n) - \mu x(n) e^*(n) \quad (3)$$

이 때, μ 는 알고리즘의 수렴비율을 조절하는 스텝 사이즈 파라미터이다. $x(n)$ 는 n번째 들어온 입력신호이다. $e(n)$ 는 출력신호와 희망신호의 오차이며, 다음과 같이 표현한다.

$$e(n) = d(n) - y(n) \quad (4)$$

이 때, $d(n)$ 는 희망신호, 또는 학습신호라 부른다.

2. Block LMS 알고리즘

Block LMS 알고리즘 [7]은 수신된 데이터 배열 $x(n)$ 을 M개의 블록 단위로 나누어 처리한다. 하나의 블록으로 지정된 M개의 심벌은 동시에 M개의 가중치가 곱해져서 채널에 의한 왜곡된 부분이 보상되어 다시 데이터 열로 바뀌어 출력된다.

블록의 크기가 L이라고 주어진다면 이 값에 따라서

$$n = kL + i, \quad i = 0, 1, \dots, M-1, \quad k = 0, 1, \dots \quad (5)$$

만약 k번째 블록에서 i번째의 가능한 모든 값의 결과의 합을 $x(kM+i)e(kM+i)$ 라고 나타내면, Block LMS 알고리즘의 탭 가중치 벡터를 위한 갱신 방정식 (3)은 식 (5)에 의하여 다음과 같이 표현된다.

$$\hat{w}(k+1) = \hat{w}(k) - \mu \sum_{i=0}^{L-1} x(kM+i)e(kM+i) \quad (6)$$

출력된 신호와 수신부에서 이미 알고 있는 학습 신호와의 오차를 계산하여 그 양만큼 가중치의 양을 보정하고, 보정된 가중치는 다음 블록을 보상하는데 사용

된다. 이러한 일련의 과정을 거쳐 학습신호와 출력신호의 오차가 줄고 수렴되어진다.

3. 가변 스텝 사이즈 알고리즘

가변 스텝 사이즈를 사용하는 LMS 알고리즘의 계수 벡터는 식 (3)에 의하여 갱신된다. 이 때 일반적인 LMS 알고리즘에서 MSE는 다음과 같이 표현된다[8].

$$J(n) = E\{[d(n) - w^H(n)x(n)]^2\} \quad (7)$$

이 때, $J(n)$ 의 기울기는 가중치 벡터 w 와 관련되어 다음과 같이 표현된다.

$$\nabla J(n) = 2Rw - z \quad (8)$$

여기서 $R = E[x(n)x^H(n)]$ 은 수신된 신호벡터 $x(n)$ 의 상관행렬($N \times N$)이다. $z = E[x(n)d^*(n)]$ 는 입력신호와 학습신호 사이의 자기상관벡터이다.

만약 $R = x(n)x^H(n)$, $p = x(n)d^*(n)$ 로 정의하면, $J(n)$ 의 기울기는 다음과 같이 다시 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \nabla J(n) &= 2[x(n)x^H(n)w - x(n)d^*(n)] \\ &= 2x(n)[x^H(n)w - d^*(n)] \\ &= -2x(n)e^*(n) \end{aligned} \quad (9)$$

여기서 $e(n) = d(n) - w^H x(n) = d(n) - y(n)$ 이다.

III. 최적 스텝 사이즈

최적 스텝 사이즈 μ 를 선택하기 위해서 다음의 두 가지 조건을 만족해야한다.

- MSE 기울기($\nabla J(n)$)가 커질 때는 μ 값의 크기가 커야하고 작을 때는 μ 값이 작아야 한다.
- $0 < \mu < \frac{1}{\text{tr}[R]}$ 이 때, $R = E[x(n)x^H(n)]$ 이다.

식 (3)에 의하여 갱신되는 가중치의 가변 스텝 사이즈 조정을 위하여 다음과 같은 식을 제안한다.

$$\mu(n) = \frac{1}{\text{tr}[R]} \{ \tan^{-1}(|\log_{10}(-2e(n)x(n) + 1)|) / 1.6 \} \quad (10)$$

가변 스텝 사이즈 알고리즘에 관한 식 (10)에서 역탄젠트의 최대 값인 1.57을 정규화 하기 위하여 1.6으로 나누어 계산하였다. 그리고 역탄젠트의 수렴 곡선을 보다 완만하게 만들기 위하여 \log_{10} 값을 사용하였다.

IV. 시뮬레이션 결과 및 분석

이번 절에서는 시뮬레이션을 통하여 제안된 알고리즘의 성능을 분석한다. 성능의 입증을 위하여 standard LMS 알고리즘과 성능을 비교한다.

그림 2에서는 제안된 Block-VSLMS (Variable Step-Size LMS) 와 standard LMS 알고리즘의 MSE 수렴 곡선을 비교한다. 이 시뮬레이션은 SNR비를 15 dB로 가정하고 BPSK 모듈레이션을 사용한 CDMA 환경에서 실행되어졌다. 채널은 추가 백색잡음 (AWGN) 과 함께 다중 경로 레일리 페이딩 (Rayleigh fading) 채널을 가정하여 사용한다[10]. 안테나의 숫자는 5개로 주어졌고, 사용자 숫자도 5명으로 가정한다. 블록의 크기는 8탭, 안테나간 거리는 0.5λ 라고 가정하였다. 비교 대상인 standard LMS 알고리즘의 스텝 사이즈 파라미터는 $\mu=0.0027$ 로 고정하였다. 본 논문에서 MSE 그래프는 30번의 독립된 시뮬레이션 결과들을 평균하였다.

그림 2는 제안된 Block-VSLMS 알고리즘이 standard LMS 알고리즘에 비해서 빠른 수렴속도를 가짐을 보여준다.

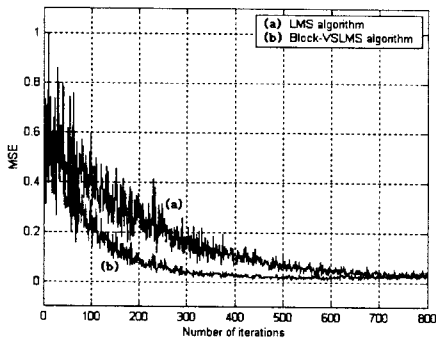


그림 2. Standard LMS 알고리즘과 제안된 Block-VSLMS의 MSE 수렴 곡선

Fig. 2. MSE Convergence curves of Standard LMS Algorithm (a) and the proposed Block-VSLMS Algorithm (b)

그림 3은 추가 백색잡음 (AWGN)과 함께 다중 경로 레일리 페이딩 (Rayleigh fading)에서의 SNR비와 Bit Error Rate (BER)의 관계를 보여준다. 그림 2에서의 조건과 같은 조건하에서 SNR비의 경우 0dB부터 14 dB까지 변화시켰다. <그림 3>에서 볼 수 있듯이 제안된 알고리즘과 Standard 알고리즘은 큰 차이는 없다. 이것은 식 (10)에서 사용한 알고리즘이 배열 안테나를 구성하는데 문제가 되지 않는다는 것을 의미한다.

그림 4에서 보여주는 모델은 각 배열 안테나에 들어오는 입사각과 거리를 보여준다. 본 논문에서는 각 안테나의 거리 d 를 0.5λ 라고 가정하였으며 입사각은 현

재 측정하는 신호를 0° 로 주었고, 자신을 제외한 다른 사용자의 신호는 각각 $[-20^\circ, -60^\circ, 30^\circ, 60^\circ]$ 로 가정하였다.

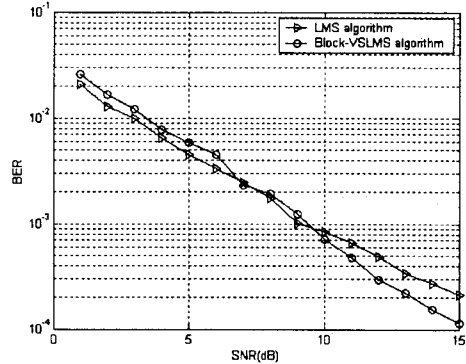


그림 3. 레일리 페이딩 채널에서 Standard LMS 알고리즘과 제안된 Block-VSLMS의 SNR대 BER 성능

Fig. 3. BER performance versus SNR for Standard LMS Algorithm (a) and the proposed Block-VSLMS Algorithm (b) in the Rayleigh fading

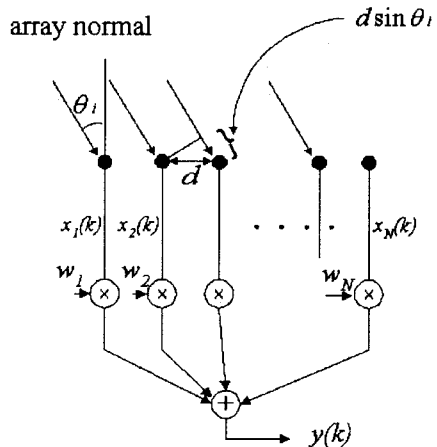


그림 4. 선형 안테나 배열 모델
Fig. 4. Model for Linear Antenna array

그림 5는 1000개의 샘플링 후의 각각의 알고리즘의 빔형성 패턴을 보여준다. 시뮬레이션 조건은 위의 조건과 같고 SNR은 15dB로 가정하였다. 0° 에 자기 자신의 신호가 있기 때문에 그 외의 신호들은 감소되어져야만 한다. 그림 5는 standard LMS 알고리즘에 비하여 제안된 Block-VSLMS 알고리즘이 자신을 제외한 다른 사용자의 신호를 보다 효율적으로 감소시키고 비교적 정확함을 보여준다.

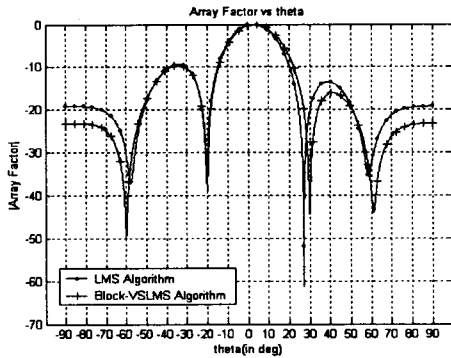


그림 5. Standard LMS 알고리즘과 제안된 Block-VSLMS 알고리즘의 빔형성 패턴 비교
Fig. 2. Beamforming patterns of Standard LMS and the proposed Block-VSLMS Algorithms

IV. 결론

본 논문은 배열 안테나에서 효과적인 빔형성을 위하여 Block LMS 알고리즘을 기반으로 스텝사이즈 변화에 역탄젠트를 이용한 Block-VSLMS 알고리즘을 제안하였다. 제안된 방식은 기존의 알고리즘 보다 빔형성에 있어 효율적이고 보다 빠른 수렴속도를 갖는 이점이 있다. 시뮬레이션 결과를 통해 실제적으로 빠른 MSE 수렴곡선과 보다 정확한 빔형성 패턴을 기존의 standard LMS 알고리즘과 비교하여 증명하였다.

참고문헌

[1] LAL C. GODARA, "Application of Antenna Arrays to mobile Communications, Part II: Beam-Forming and Direction-of-Arrival Considerations, Proceeding of the IEEE, vol. 85, 1997, pp.1195-1245
[2] R. H. Kwong and E. W. Johnston, "A variable step size LMS algorithm," IEEE Trans, Signal Process, vol. 40, 1992, pp. 1633-1642
[3] H. Choi, D. S. Kim, S. H. Han, H. D. Bae, "Variable Block - Variable Step Size LMS adaptive filters," 한국통신학회 논문지 제 14권 1호, 2001, pp. 967-970
[4] Won H. R. and S. K. Oh, "FFT-Based Block Least Mean Squares Adaptive Equalizer using Antenna Arrays for High Speed Wireless Communications," 대한전자공학회 논문지 제 21권 제 2호, 1998, pp. 167-170
[5] B. Widrow, J. M. McCool, M. G. Larimore and C. R. Johnson, Jr., "Stationary and nonstationary learning characteristics of the LMS adaptive filter,"

Proc. IEEE, vol 64, 1976, pp. 1151-1161

[6] J. C. Liberti, Jr. and T. S. Rappaport, "Smart antennas for Wireless Communications - IS-95 and 3rd Generation CDMA applications," Prentice Hall PTR, 1999

[7] Haykin, "Adaptive Filter Theory," 3rd Ed, New Jersey, Prentice-Hal, 1996, pp. 445-482

[8] L .M. TUAN, J. PARK, "Novel LMS-Based Exponential Step Size Adaptive Beamforming Algorithm for Smart Antenna," IEICE TRANS COMMUN, vol. E85-B, No.5, 2002

[9] N. J. Bershad, "On the optimum gain parameter in LMS adaptation," IEEE Trans. vol. ASSP-35, 1987, pp. 1065-1068

[10] H. Y. Lee and J. M. Ahn, "Performance of spatial FFT based smart antenna receiver system," 대한전자공학회 논문집 제 25권 제 1호, 2002, pp. 33-36