

EDS 알고리즘을 이용한 적응형 빔형성 안테나 설계[†]

Design of Adaptive Beamforming Antenna using EDS Algorithm

김 성 훈*, 오 정 근**, 유 관 호***
(Sung-Hun Kim, Jung-keun Oh, Kwan-Ho You)

Abstract – In this paper, we propose an adaptive beamforming algorithm for array antenna. The proposed beamforming algorithm is based on EDS (Euclidean Direction Search) algorithm. Generally LMS algorithm has a much slower rate of convergence, but its low computational complexity and robustness make it a representative method of adaptive beamforming. Although the RLS algorithm is known for its fast convergence to the optimal Wiener solution, it still suffers from high computational complexity and poor performance. The Proposed EDS algorithm has a rapid convergence better than LMS algorithm, and has a computational more simple complexity than RLS algorithm. In this paper we compared the efficiency of the EDS algorithm with a standard LMS algorithm.

Keywords : Smart antenna, EDS algorithm, Adaptive filter, Beamforming

1. 서 론

이동통신 서비스의 폭발적인 수요 증가 및 고품질, 고용량의 서비스로 인하여 무선 주파수 자원의 제한에 따른 문제가 대두되어왔다. 이에 효율적인 자원 관리를 위한 많은 기술들이 선보이고 있다. 이중 하나가 스마트 안테나 기술이다. 스마트 안테나 기술은 사용자의 신호 방향으로 빔을 형성하고, 간섭신호로 작용하는 다른 방향의 사용자 신호에는 널(null)빔을 형성함으로써 간섭을 줄이는 시스템으로 통화 채널 간 간섭 신호를 최소화할 수 있는 장점을 지니고 있기 때문에 용량(셀 당 사용자수)을 증가시키는 효과를 준다[1]-[2].

적응 배열 안테나 알고리즘(adaptive array antenna algorithm)은 적응 배열 안테나의 가중치를 개선하기 위하여 사용된다. 대표적인 알고리즘으로는 LMS, RLS 등이 사용된다. LMS 알고리즘은 비교적 복잡한 계산을 요구하지 않기 때문에 다양하게 응용되어진다. 즉, 적응형 필터로써 시스템 식별 및 안테나 빔형성에 널리 사용된다. 그러나 수렴속도가 느려 빠른 속도의 이동통신환경에서는 사용이 어렵다는 단점이 있다. 그에 반해 RLS는 LMS에 비해 flat fading 채널에서 성능이 우수하고, 수렴 속도가 빠르다는 장점이 있으나 계산량이 너무 많다는 단점이 있다 [1]-[3]. 이에 본 논문에서는 LMS 알고리즈다 보다 수렴속도가 빠르고, RLS 알고리즘에 비해 계산량이 적은 EDS 알고리즘을 스마트 안테나의 빔형성 알고리즘에 적용하였다 [3].

저자 소개

* 김 성 훈 : 成均館大學 情報通信工學部 碩士課程
** 오 정 근 : 成均館大學 情報通信工學部 碩士課程
***유 관 호 : 成均館大學 情報通信工學部 助教授·工博

[†] 본 논문은 2003년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음. (KRF-2003-041-D002299)

본 논문은 2장에서 신호모델을 설명하고, 3장에서는 EDS 알고리즘에 대해 설명하고, 4장에서는 LMS 알고리즘을 이용한 빔형성기와 EDS 알고리즘을 이용한 빔형성기를 모의실험을 통하여 성능을 비교하였다. 마지막으로 5장에서는 결론을 기술한다.

2. 신호 모델

통과 대역채널에서 동시에 K명의 사용자가 송신을 하는 동기 CDMA 시스템을 고려하고자 한다. K개의 신호가 M개의 배열 안테나에 입사된다고 가정할 경우 k번째의 출력 신호는

$$x_k(t) = \sum_{m=1}^M s_m(t) e^{-j(k-1)\phi_m} + n_k(t) \quad (1)$$

로 나타낼 수 있다. 이때 $s_m(t)$ 는 m 번째 입력 신호를 의미하며, $n_k(t)$ 는 부가 잡음을 의미한다. ϕ_m 는 m 번째 신호에 의한 위상지연을 나타낸다.

각 배열 안테나에 입사된 신호를 벡터로 나타내면

$$x(t) = As(t) + n(t) \quad (2)$$

과 같다. 윗 식의 각 성분은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$x(t) = [x_1(t), x_2(t), x_3(t), \dots, x_M(t)]$$

$$A = [a_1, a_2, a_3, \dots, a_k]$$

$$s(t) = [s_1(t), s_2(t), s_3(t), \dots, s_k(t)]$$

$$n(t) = [n_1(t), n_2(t), n_3(t), \dots, n_M(t)]$$

이 때 i 번째 신호의 steering vector a_i 는

$$a_i = [1, e^{-j\phi_i}, \dots, e^{-j(M-1)\phi_i}]^T$$

이 된다. 각 배열 안테나의 출력 값은

$$y(t) = w^H x(t)$$

이 된다. 이 때 사용되는 가중치 벡터 w 는

$$w = [w_1, w_2, w_3, \dots, w_M]^T$$

와 같이 나타낼 수 있다.

3. EDS 알고리즘

본 논문에서는 적응형 범형성 알고리즘에 EDS 알고리즘을 적용하였다. LMS 알고리즘은 계산식은 간단한데 비해 수렴속도가 늦고, RLS 알고리즘은 수렴속도는 좋은데 비해 계산량이 많다는 단점을 가지고 있었다. 이에 반해 EDS 알고리즘을 이용한 적응형 범형성 알고리즘은 계산량도 적을 뿐만 아니라 수렴속도도 빨라 이동통신 환경에서 사용이 용이하다.

EDS 알고리즘을 적용한 가중치 벡터 값은 다음과 같은 과정을 통해 구해진다. 가중치에 의해 계산된 신호와 reference 신호의 차이값이

$$e(n) = [w(n)^H x(n) - r(n)] \quad (3)$$

일때 MSE(Mean Square Error)의 값은 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$\begin{aligned} J &= [w(n)^H x(n) - r(n)]^2 \\ &= w(n)^H R_{xx}(n) w(n) - 2w(n)^H z(n) + \sigma(n)^2 \end{aligned} \quad (4)$$

$$R_{xx}(n) = f R_{xx}(n-1) + x(n)x(n)^H$$

$$z(n) = fz(n-1) + r(n)^H x(n)$$

$$\sigma(n)^2 = f\sigma(n-1)^2 + r(n)^H r(n)$$

로 표현되며, f 는 forgetting factor이다.

$w(n)$ 을 direction method로 표현하기 위해 α 를 step-size로 정의하고, d 를 search direction이라하면

$$w(n) = w(n-1) + \alpha(n)d \quad (5)$$

로 표현할 수 있다[3]. 위의 식을 (4)의 cost function J 의 w 에 대입하면

$$\begin{aligned} J &= [w(n) + \alpha(n)d]^H R_{xx}(n) [w(n) + \alpha(n)d] \\ &\quad - 2[w(n) + \alpha(n)d]z(n) + \sigma(n)^2 \end{aligned} \quad (6)$$

이때 최적의 step size α 를 계산하기 위하여 (6)식을 α 값으로 편미분을 하면

$$\begin{aligned} \frac{\partial J}{\partial \alpha} &= \nabla J(n)^H R_{xx}(n) [w(n) + \alpha(n)d] \\ &\quad - \nabla J(n)^H z(n) \end{aligned} \quad (7)$$

Error를 최소화하기 위해서는 (7)식이 0으로 수렴되어야 하므로

$$\begin{aligned} \nabla J(n)^H R_{xx}(n) [w(n) + \alpha(n)d] \\ - \nabla J(n)^H z(n) = 0 \end{aligned} \quad (8)$$

(8)식으로부터 α 값을 유도해 보면

$$\alpha(n) = -\frac{d^H [R_{xx}(n)w(n) - z(n)]}{d(n)^H R_{xx}(n)d(n)} \quad (9)$$

(9)식은 matrix-vector 요소의 곱들로 이루어져 있으므로 이 식을 포함한 전체식은 $O(N^2)$ 의 계산 복잡도를 갖는다. 그런데 이때 $d(n) = [0, \dots, 0, 1, \dots, 0]^T$ 형태의 Euclidean

direction 값을 가지면 (6)식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\alpha(n) = -\frac{q_i(n)^H w_i(n-1) - r_i(n)}{q_{ii}(n)} \quad (10)$$

$q_i(n)$: $R_{xx}(n)$ 의 i 번째 row vector

$w_i(n)$: $w(n)$ 의 i 번째 요소

$r_i(n)$: $r(n)$ 의 i 번째 요소

$q_{ii}(n)$: $R_{xx}(n)$ 의 대각선 벡터의 i 번째 요소

(10)식을 (5)식에 대입을 하면

$$w_i(n) = w_i(n-1) - \frac{q_i(n)^H w_i(n-1) - r_i(n)}{q_{ii}(n)} \quad (11)$$

이 된다. 위의 (10) 식을 이용한 전체식의 계산량은 $O(N)$ 이 된다[4].

4. 시스템 모의실험

EDS 알고리즘을 이용한 범형성기의 성능 실험을 위하여 LMS 알고리즘을 이용한 범형성기와 EDS를 이용한 알고리즘을 사용하는 범형성기를 비교하였다. 모의실험을 위해 실험환경으로 CDMA 환경을 조성하였다. 신호의 변조방식은 QPSK를 사용하였고 채널은 주파수 선택적인 페이딩 영향에 의해 발생하는 ISI(Inter Symbol Interference) 성분을 가진 다중 경로 채널을 사용하였다. 실험에 사용된 안테나는 2~6개이며 사용자의 수도 1~12명으로 안테나의 수 및 사용자 수를 바꿔가며 실험을 수행하였다. 표 1은 모의실험을 하기 위해 구성한 시스템의 파라미터 값이다.

표 1. 시스템의 파라미터 값

파라미터	값
변복조 방식	QPSK
chip rate	3.6864Mcps
frequency	1.95GHz
확산이득	7
채널모델	AWGN
사용자수	1~12
안테나 개수	2~6
bit rate	512,000
사용자 신호세기	모든 신호 동일
E_b/N_o	10[dB]
1chip 당 샘플링수	8

상기의 환경에서 그림 1은 EDS 알고리즘의 범퍼턴을 나타내며, 그림 2, 3에서는 LMS 알고리즘과 EDS 알고리즘의 각 성능을 비교하였다. 그리고 그림 4에서는 EDS 알고리즘의 안테나수에 따른 성능을 비교하였다.

그림 1은 원하는 사용자 신호의 입사방향이 0° 이고 그 외의 사용자(Interference) 신호의 입사방향이 $20^\circ, 50^\circ, -40^\circ$ 일 때, EDS 알고리즘을 이용한 범퍼턴을 나타낸 것이다. 그림과 같이 원하는 사용자의 입사방향으로는 최대 범을 형성하고, 그 외의 사용자들의 입사방향에는 null 범을 형성하는 것을 볼 수 있다.

그림 2는 LMS 알고리즘과 EDS 알고리즘의 수렴속도를 비교한 것이다. 이때 LMS 알고리즘의 step-size는 0.05로 하였다. 그림에서 알 수 있듯이 LMS 알고리즘에 비해 EDS 알고리즘을 적용한 경우가 훨씬 더 빠른 수렴속도를 보이는 것을 확인할 수 있다.

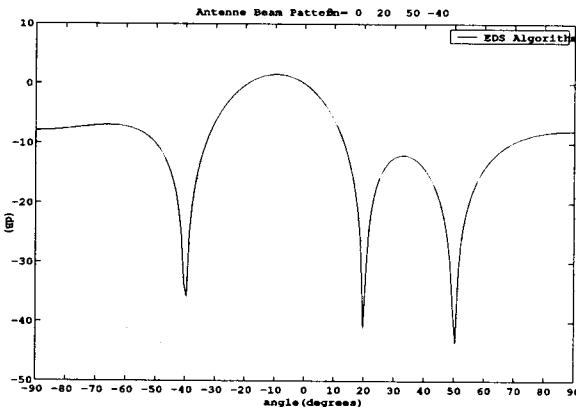


그림 1. EDS 알고리즘을 이용한 빔패턴

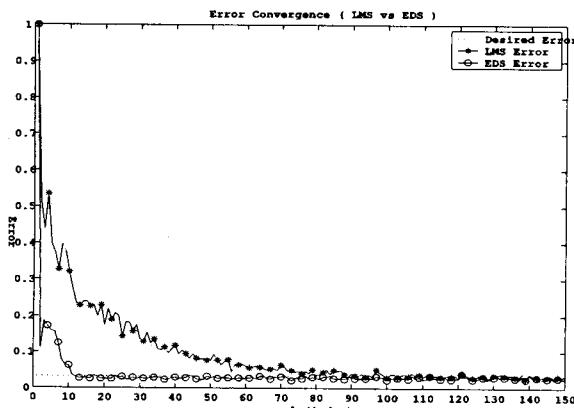


그림 2. LMS 와 EDS 알고리즘의 수렴속도비교

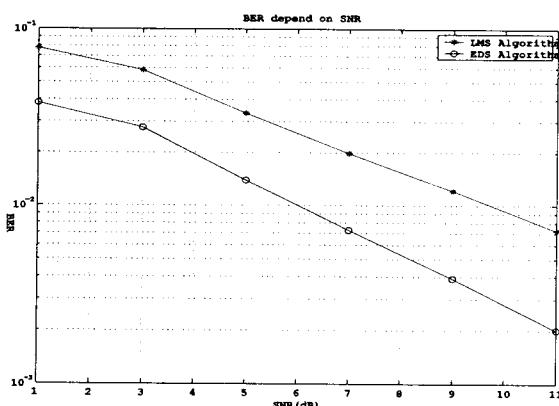


그림 3. SNR대 BER 비교

그림 3은 LMS 알고리즘과 EDS 알고리즘을 사용하였을 때 SNR의 값에 따른 BER을 비교한 것이다. LMS 알고리즘과 EDS 알고리즘을 비교한 위의 그림으로부터 EDS 알고리즘이 LMS 알고리즘에 비해 상황에 따른 BER이 보다

우수하게 나타나는 것을 볼 수 있다.

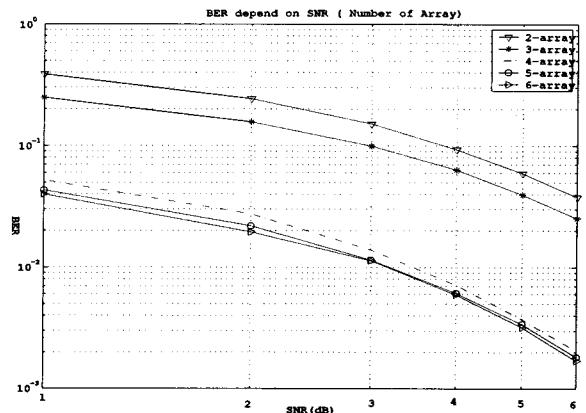


그림 4. 배열 안테나 수에 따른 SNR대 BER 비교

그림 4는 EDS 알고리즘 사용 시 배열 안테나수에 따른 SNR과 BER을 비교하였다. 이때 사용자의 수는 4명이다. 위의 그림에서 알 수 있듯이 사용자의 수에 비해 안테나의 수가 많을수록 보다 우수한 BER특성을 보이는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

기존의 대표적인 빔형성 알고리즘인 LMS, RLS 알고리즘은 그들 자신의 장점에 비해 수렴속도가 늦다거나, 계산량이 너무 많다는 단점을 가지고 있었다. 본 논문에서는 LMS 알고리즘의 장점과 RLS 알고리즘의 장점을 모두 갖춘 EDS 알고리즘을 이용한 적용형 빔형성 알고리즘을 제시하였다. 또 이를 확인하기 위하여 모의실험을 통하여 LMS 알고리즘과 비교하여 EDS 알고리즘의 우수성을 증명하였다.

참 고 문 헌

- [1] Godara, L.C., "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] Blogh, J.S. and Hanzo, L., "Third-Generation System and Intelligent Wireless Networking," 2002, pp 123-192.
- [3] Haykin, S., "Adaptive Filter Theory," 3rd Ed, New Jersey, Prentice-Hall, 1996, pp 445-482.
- [4] Xu, G.F. and Bose, T., "A direction set based algorithm for adaptive Filtering," IEEE Transactions on Signal Processing Vol 47, No 2, 1999.
- [5] Xu, G.F and Bose, T., "Analysis of the Euclidean Direction Set Adaptive Algorithm," IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers Signal Processing, 1998, pp 1689-1692.