

# CDMA 환경에서의 적응빔형성 알고리즘 개발

박재돈\*, 김제우\*\*, 윤기완\*

\*한국정보통신대학원

\*\*텔레시스테크놀로지스㈜

## Adaptive Beamforming Algorithm in CDMA Environment

Jaedon Park\*, Jewoo Kim\*\*, and Giwan Yoon\*

\*Information & Communications University,

\*\*TeleCIS Technologies, Inc.

E-mail Address : elejdp@icu.ac.kr

### 요약

스마트안테나용 적응 빔형성 알고리즘을 제안한다. 본 알고리즘은 기울기 법에 근간했으며 신호에 대한 사전정보가 필요 없다. 그리고, 계산량이 기존의 알고리즘에 비해 급격히 줄어든 장점이 있다. 본 알고리즘은 그 계산량에 비해서 성능이 또한 매우 우수하다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 본 알고리즘을 검증했다.

### Abstract

We, for the first time, propose a novel adaptive beamforming algorithm for smart antenna. The algorithm requires neither spatial knowledge nor reference signal. The algorithm is based on gradient method and its merit is in the simplicity of calculation load while maintaining good performance. Computer simulations are presented to verify the performance.

### 키워드

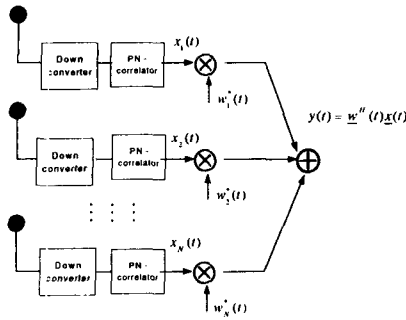
스마트안테나, 적응빔형성 알고리즘, 기울기법, CMA

### 1. 서론

무선 이동통신의 수요가 증가하면서, 통신용량을 증대시키는 기술이 점점 중요해지고 있다. 1960년대 이래로, 적응배열안테나 (스마트안테나) 에 대한 연구가 활발히 행해져왔다. 특히, 스마트안테나용 적응 빔형성 알고리즘에 대한 연구가 많이 행해지고 있다. 그중에서 Maximum Likelihood 에 근간한 연구가 활발하다 [1]-[3]. 특히 Iterative Least Squares and Projection (ILSP) 알고리즘 [2] 과 Least Squares Constant Modulus (LSCM) 알고리즘 [3] 은 그 성능이 뛰어나다. 하지만 계산량이 복잡하다는 단점이 있다. 그리고, Eigen

Decomposition (ED) 기술에 근간한 알고리즘들이 있다 [4]-[8]. 그중에서, Modified Conjugate Gradient Method (MCGM)[4] 는 성능면에서 뛰어나다. 하지만 그 계산량이 또한 실시간 통신에 이용하기에는 비교적 복잡한 단점이 있다.

본 논문에서는, 기준신호에 대한 사전 정보가 필요치 않고, 계산량이 기존 알고리즘에 비해 매우 간단하면서 성능도 우수한 알고리즘을 제안한다. 본 알고리즘은 계산량이  $O(5N)$  인데, 기존의 알고리즘은 ILSP 인 경우  $O(KNd)$  이고 MCGM 인 경우  $O(3N^2 + 12N)$ 이다. 여기서  $N$  은 배열안테나 개수이고,  $K$  는 스냅샷 수이고,  $d$  는 배열안테나에 입사하는 신호의 개수이다.



(그림 1) 배열안테나 수신시스템  
Fig. 1 A schematic of an array antenna receiver system

배열안테나의 기본적인 수신시스템이 (그림 1)에 나타나있다. 수신신호벡터 ( $\vec{x}(t)$ )는 수식 (1)에 나타나있다.

$$\vec{x}(t) = A \vec{s}(t) + \vec{n}(t) \quad (1)$$

여기서, 수신벡터 ( $\vec{x}(t)$ ), steering 행렬 ( $A$ )과 그 요소 ( $\vec{a}(\theta_k)$ ), 그리고 전송신호 ( $\vec{s}(t)$ )는 다음처럼 구성된다.

$$\vec{x}(t) = [x_0(t), x_1(t), \dots, x_{N-1}(t)]^T \quad (2)$$

$$A = [\vec{a}(\theta_1) \quad \vec{a}(\theta_2) \quad \dots \quad \vec{a}(\theta_M)] \quad (3)$$

$$\vec{a}(\theta_k) = [1 \quad \exp(-j\pi \sin \theta_k) \quad \dots \quad \exp(-j(N-1)\pi \sin \theta_k)] \quad (4)$$

$$\vec{s}(t) = [s_1(t) \quad s_2(t) \quad \dots \quad s_M(t)] \quad (5)$$

그리고,  $\vec{n}(t)$ 는 AWGN (Additive White Gaussian Noise) 잡음이다. 원 신호 ( $y$ )는 수신신호 ( $\vec{x}(t)$ )에 예측된 가중치벡터( $\vec{w}^H$ )를 곱해서 구해진다.

$$y = \vec{w}^H \vec{x} \quad (6)$$

원신호를 올바르게 추출하기 위해서는 가중치벡터 ( $\vec{w}$ )를 잘 예측하는게 본 알고리즘의 핵심이다.

## II. 제안 알고리즘

CDMA 환경에서는 전송신호의 전력이 간섭신호의 전력보다 훨씬 크기 때문에 수식 (1)은 다음처럼 간단히 나타내어진다 [4].

$$\vec{x}(t) = s_1(t) \vec{a}(\theta_1) \quad (7)$$

수식 (6)에서, 배열안테나 출력신호는 다음처럼 나타내어진다.

$$y = \vec{w}^H \vec{a}(\theta_1) s_1(t) \quad (8)$$

여기서, 가중치벡터는 다음처럼 예측 할 수있다.

$$\vec{w} = \vec{a}(\theta_1) \quad (9)$$

그래서 수식(8)은 다음처럼 계산된다.

$$y = \vec{a}(\theta_1)^H \vec{a}(\theta_1) s_1(t) \quad (10-1)$$

$$= N s_1(t) \quad (10-2)$$

여기서,  $s_1(t)$ 는  $\vec{x}(t)$ 의 첫 번째 요소인  $x_1$ 으로 근사될수 있으므로 배열안테나의 개수는 수식 (10-2)를  $x_1$ 으로 나눠서 구할수 있다. 결국 비용함수 ( $J$ )는 다음수식으로 정한다.

$$J = (y/x_1 - N)^2 \quad (11)$$

제안 알고리즘은 위 비용함수를 최소가 되도록 하는 최적의 가중치벡터를 반복적으로 구하는 알고리즘이다. 위 함수를 최소화하기 위해서, 본 알고리즘은 기울기법에 근간한 Steepest-Descent [9] 방식을 이용한다. 그라디언트 값은 비용함수를 가중치벡터로 미분해서 구한다.

$$\nabla = \frac{dJ}{dw} \quad (12-1)$$

$$= (y/x_1 - N) \vec{x}/x_1 \quad (12-2)$$

위 수식에서 일부 미분 상수는 무시되었다. 그리고, 가중치 벡터는 다음 수식처럼 Steepest-Descent 방식을 이용해서 갱신된다.

$$\vec{w}(k+1) = \vec{w}(k) - u \nabla_k \quad (13)$$

여기서  $u$ 는 상수값 이다. 본 알고리즘을 요약하면 다음과 같다.

$u=0.001$

1. 초기 가중치벡터 예측
2. 새로운 신호 ( $\vec{x}$ ) 수신, ( $k=k+1$ )

- 1)  $y = \vec{w}^H \vec{x}$  를 계산  $\langle N \rangle$

- 2)  $y$ 를 가장 가까운 신호값 으로 근사

- 3) 그라디언트 값 계산

$$\nabla_k = (y/x_1 - N) \vec{x}/x_1 \quad \langle 2N \rangle$$

- 4) 가중치벡터 갱신

$$\vec{w}(k+1) = \vec{w}(k) - u \nabla_k \quad \langle 0.5N \rangle$$

- 5) 가중치벡터 정규화

$$\vec{w}/\text{norm}(\vec{w}) \quad \langle 1.5N \rangle$$

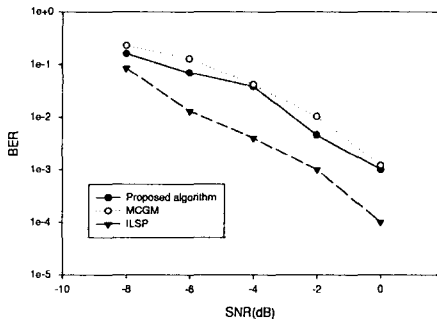
3. 새로운 신호가 수신되면 2반복  
여기서  $\langle \rangle$  안의 값은 계산량이다.

본 알고리즘의 계산량은  $O(5N)$ 임을 알 수있다.

## III. 분석과 시뮬레이션

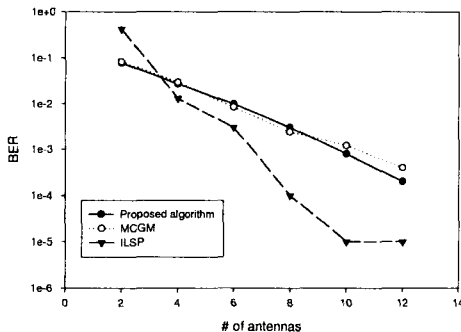
우선, Maximum Likelihood 방식에 근간한 ILSP 알고리즘을 살펴보자. 그 BER 특성은 매우

우수하다. 하지만, 계산량은  $O(KNd)$ 으로서 상당히 복잡하다. 여기서  $N$  은 배열안테나 개수이고,  $K$  는 스냅샷 수이고  $d$  는 입력신호의 개수이다 [2]. 다음으로, 기울기법에 근간한 MCGM 은 그 성능이 우수하지만 계산량이  $O(3N^2 + 12N)$  으로서 또한 복잡하다 [4]. 반면에 제안 알고리즘의 계산량은  $O(5N)$  으로서 기존의 알고리즘에 비해 상당히 간단하다.



(그림 2) ILSP, MCGM, 제안알고리즘의 SNR에 대한 BER 특성

Fig. 2 BER performances as a function of SNR for ILSP, MCGM and proposed algorithm



(그림 3) ILSP, MCGM, 제안알고리즘의 배열안테나 개수에 대한 BER 특성

Fig. 3 BER performances as a function of number of antennas for ILSP, MCGM and proposed algorithm

(그림 2)는 SNR(Signal to Noise Ratio)에 대한 세가지 알고리즘의 BER 특성을 보여준다. Processing Gain 은 64 이고, 간섭신호의 개수는 20개이고, 배열안테나 수는 10개이다. 그림에서 보듯이, 제안 알고리즘의 BER 특성은 ILSP 보다는 좀 나쁘지만 MCGM 보다는 더 좋은 것을 볼 수 있다. 그런데 계산량을 비교했을 때 제안 알고리즘의 특성이 다른 알고리즘보다 상당히 우수함을 알 수 있다. (그림 3)에서는 배열안테나 수를 변화시켜 가면서 BER 특성을

살펴봤다. 여기서, SNR 은 0 dB 로 고정시켰고, Processing Gain 은 64, 간섭신호 개수는 20 이다. 이 그림에서도 제안알고리즘이 다른 알고리즘에 비해서 상당히 적은 계산량에도 불구하고 좋은 BER 특성을 보여주고 있음을 알 수 있다. [표 I] 에 기존의 알고리즘과 제안 알고리즘의 특성을 정리했다.

[표 I] 계산량과 BER에 대한 알고리즘 비교  
[TABLE I] Algorithm comparisons in terms of calculation load and BER

IV. 결론

	ILSP	MCGM	제안 알고리즘
계산량	아주 복잡함	복잡함	간단함
BER	매우 우수함	우수함	우수함

본 논문에서 실시간 이동통신에 이용 될 수 있는 스마트안테나용 적응빔형성 알고리즘을 제안했다. 제안 알고리즘의 계산량은  $O(5N)$  으로서, 기존 알고리즘에 비해 상당히 적은 계산량을 가진다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통해서, 제안 알고리즘이 상당히 작은 계산량임에도 불구하고 기존 복잡한 알고리즘과 거의 비슷한 성능을 나타냄을 보였다.

참고문헌

[1] I. Ziskind, and M. Wax, Maximum Likelihood Localization of Multiple Sources by Alternating Projection, IEEE Trans. Acoust. Speech and signal processing, vol. ASSP-36, no. 10, pp.1553-1560, 1998.  
 [2] T. Shilpa, V. Mats, and P. Arogyaswami, Blind Separation of Synchronous Co-Channel Digital Signals Using an Antenna Array-Part 1: Algorithms, IEEE Trans. Signal Processing, vol. 44, no. 5, pp. 1184-1197, 1996.  
 [3] F. R. P. Cavalcanti, J. M. T. Romano, and A. L. Brandao, Least-Squares CMA with Decorrelation for Fast Blind Multiuser Signal Separation, IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, vol. ASSP-5, pp.2527-2530, 1999  
 [4] S. Choi, and D. Yun, Design of an

Adaptive Antenna Array for Tracking the Source of Maximum Power and Its Application to CDMA Mobile Communications, IEEE Trans. Antennas And Propagation, vol. 45, no.9, pp. 1393-1404, 1997.

[5] M. Kaveh, and A. J. Barabell, The Statistical Performance of the MUSIC and the Minimum-Norm Algorithm in Resolving Plane Waves in Noise, IEEE Trans. Acoust. Speech and signal processing, vol. ASSP-34, no. 2, pp.331-340, 1987.

[6] D. H. Johnson, and S. DeGraaf, Improving the resolution of bearing in passive sonar arrays by eigenvalue analysis, IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, vol. ASSP-30, pp. 638-647, Aug. 1982

[7] H. Cox, R. M. Zeskind, and M. M. Owen, Robust adaptive beamforming, IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, vol. ASSP-35, pp. 1365-1376, Oct. 1987

[8] R. Roy and T. Kailath, ESPRIT-estimation of signal parameters via rotational invariance techniques, IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, vol. 37, pp. 984-995, July 1989

[9] W. Bernard, and D. S. Samuel, Adaptive Signal Processing, Prentice-Hall Signal Processing Series, 1985.