

# 계산량 감소를 위한 적응 C-GSC 알고리즘

문성훈<sup>1</sup>, 한동석<sup>1</sup>, 이규만<sup>1</sup>, 조명재<sup>2</sup>

<sup>1</sup>경북대학교 전자전기공학부, <sup>2</sup>국방과학연구소

전화: (053)950-6609, 팩스: (053)950-5505, 전자우편: emdee@palgong.kyungpook.ac.kr

## Adaptive C-GSC Algorithm for Reducing the Computational Complexity

Sung-Hoon Moon<sup>1</sup>, Dong-Seog Han<sup>1</sup>, Kyu-Man Lee<sup>1</sup>, Myeong-Je Cho<sup>2</sup>

<sup>1</sup>School of Electronic & Electrical Engineering, Kyungpook National University

Phone: (053)950-6609, Fax: (053)950-5505, E-mail: emdee@palgong.kyungpook.ac.kr

<sup>2</sup>Agency for Defense Development

**Abstract** - In this paper we propose a new efficient generalized sidelobe canceller(GSC) algorithm, using the efficient frequency domain LMS algorithm, which has much less weights to update. We only update part of all the weights according to magnitude of each frequency bin. So, the new proposed GSC algorithm, which is called censored GSC(C-GSC), can greatly reduce the computational complexity.

거함으로써 시간 영역에서 LMS 알고리즘을 적용할 때 보다 수렴 속도를 크게 향상시킬 수 있다. J. An 과 B. Champagne 는 입력 신호를 이차원 주파수 영역으로 변환하여 MSE 의 수렴 속도를 더욱 향상시키는 방법을 제안하였다[3].

그러나 주파수 영역의 LMS 알고리즘을 이용한 GSC 는 주파수 영역으로의 변환으로 인해서 계산량이 증가하게 된다. 본 논문에서는 계산량을 감소시키기 위하여 모든 가중치를 갱신하지 않고 변환된 신호의 크기 비교를 통하여 선택된 가중치만을 갱신하는 새로운 알고리즘을 제안한다.

### I. 서론

GSC 는 1982 년 Griffith 와 Jim 이 제안한 새로운 구조의 부엽 제거기이다[1]. GSC 는 일반적인 부엽 제거기와는 다르게 안테나를 주 안테나와 보조 안테나로 따로 만들지 않고 같은 어레이 안테나들의 조합으로 주 채널과 보조 채널을 형성하는 구조의 부엽 제거기이다. 일반적으로, 시간 영역에서의 LMS(least mean square) 알고리즘을 사용하는 부엽 제거기는 입력 상관도 행렬의 고유치 확산 값이 크면 MSE(mean square error)의 수렴 속도가 매우 느리다. 즉 입력 신호의 주파수 대역, 어레이 패턴, 신호의 전력에 의하여 입력 상관도 행렬의 고유치가 변하게 되는데 이 고유치들의 변동폭이 크게 되면 간섭 신호를 제거하는데 많은 횟수의 적응 신호 처리가 필요하게 된다. 실제 레이더나 이동 통신용 수신기에서는 간섭 신호를 빠르게 제거하여야 하므로, 이 문제를 해결하기 위하여 많은 연구가 진행되어 왔다. 최근에 Chen 과 Fang 에 의하여 입력 신호를 주파수 영역으로 변환한 후 주파수 영역 LMS(FLMS) 알고리즘을 적용하여 수렴 속도를 향상시키는 방법이 제안되었다[2]. 이 방법은 입력 신호를 주파수 영역으로 변환하여 신호간의 상관도를 제

본 논문의 2 장에서는 주파수 영역 LMS 알고리즘을 사용한 GSC 에 대하여 살펴 보고 3 장에서 계산량을 줄이기 위한 C-GSC 알고리즘을 제안한다. 4 장에서는 기존의 GSC 의 성능과 제안하는 알고리즘을 적용한 GSC 의 성능에 대하여 분석하고 5 장에서 결론을 맺는다.

### II. FLMS 알고리즘을 이용한 GSC

#### 2.1 일차원 변환을 이용한 FLMS-GSC

그림 1 은 Chen 과 Fang 이 제안한 FLMS 알고리즘을 이용한 1D-FLMS-GSC 이다. K 개의 어레이로 입력되는 신호는 지연 소자에 의하여 위상이 조절된다. 지연 소자는 표적 신호의 방향으로 빔 패턴을 지향하여 각 어레이에 입력되는 표적 신호 성분들을 동일하게 한다. 그림 1 을 보면 서로 다른 두 신호 처리 경로가 존재함을 볼 수 있다. 위의 경로는 부엽 제거기의 주 채널이다. 지연 소자를 거친 각 어레이의 출력들 모두 더한 주 채널의 입력 신호는 1/K 의 이득을 가지

는 전대역 통과 여파기인 고정 표적 신호 여파기를 거치게 된다. 주 채널의 출력 신호  $d(n)$ 은 LMS 알고리즘을 수행할 때 기준 신호 역할을 한다. 아래의 경로는 간섭 신호를 제거하기 위한 보조 채널이다. 보조 채널은  $K-1$ 개의 감산기를 가지고 있다. 모든 어레이 출력의 표적 신호 성분은 서로 위상이 같으므로 감산기를 이용하여 한 어레이 출력을 다른 어레이 출력으로 빼게 되면 표적 신호 성분이 완전히 제거된다. 각 감산기의 출력 신호는  $L-1$ 개의 단위 지연소자를 가진 TDL(tapped-delay-line)에 의하여 한 칸씩 옆으로 이동하면서 신호 처리 과정을 거치게 된다.

TDL의 출력 신호를 주파수 영역으로 변환한 후 FLMS 알고리즘을 이용하여 구한 가중치와 곱해서 보조 채널의 출력을 구한다. 주파수 영역으로 신호를 변환하는 목적은 각 TDL의 탭 입력 신호 간의 시간적 상관도를 제거하여 수렴 속도를 향상시키는 것이다. 주파수 영역으로 변환하는 방법으로는 이산 푸리에 변환(discrete Fourier transform), 이산 코사인 변환(discrete cosine transform)이 사용된다.

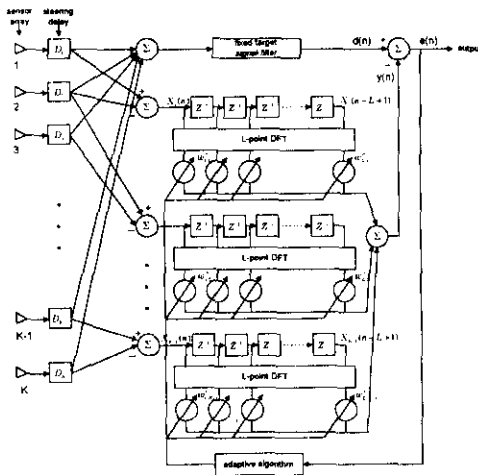


그림 1. 1D-FLMS-GSC

$n$  번째 갱신 시간에서  $i$  번째 감산기의 출력  $x_i(n)$ 은 식 (1)과 같이 각 TDL의 입력 벡터  $X_i(n)$ 을 형성한다.

$$X_i(n) = [x_i(n), x_i(n-1), \dots, x_i(n-L+1)]^T \quad (1)$$

$$U_i(n) = [u_i(n), u_i(n-1), \dots, u_i(n-L+1)]^T \quad (2)$$

$i = 1, \dots, K-1$

식 (2)에서  $U_i(n)$ 은  $X_i(n)$ 의 주파수 영역으로 변환된 신호 벡터이다.

$X(n)$ 은 시간 영역의 모든 TDL의 입력 신호를 나타내는  $(K-1)L$  차원의 신호 벡터이고  $U(n)$ 은  $X(n)$ 을 변환한 주파수 영역의 신호 벡터이다.

$$X(n) = [X_1^T(n), X_2^T(n), \dots, X_{K-1}^T(n)]^T \quad (3)$$

$$U(n) = [U_1^T(n), U_2^T(n), \dots, U_{K-1}^T(n)]^T \quad (4)$$

식 (3)과 식 (4)로부터 다음의 관계식을 얻어낼 수 있다.

$$U(n) = DX(n) \quad (5)$$

$$D = \begin{bmatrix} 0 & \dots & 0 \\ 0 & D & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & D \end{bmatrix} \quad (6)$$

여기서  $D$ 는  $L$ -point 변환을 나타낸다.

$n$  번째 갱신 시간에서  $i$  번째 TDL의  $L$ 개의 가중치 벡터  $W_i(n)$ 은 전체 가중치 벡터인  $W(n)$ 을 형성한다.

$$W_i(n) = [w_{0,i}(n), w_{1,i}(n), \dots, w_{L-1,i}(n)]^T \quad (7)$$

$$W(n) = [W_1^T(n), W_2^T(n), \dots, W_{K-1}^T(n)]^T \quad (8)$$

가중치를 곱한 모든 주파수 영역의 신호를 더해서 보조 채널의 출력 신호  $y(n)$ 을 얻은 후 주 채널의 출력 신호  $d(n)$ 과의 차를 구해서 오차 신호  $e(n)$ 을 구한다.

$$y(n) = W^H(n)U(n) \quad (9)$$

$$e(n) = d(n) - y(n) \quad (10)$$

오차 신호를 구한 다음 FLMS 알고리즘을 사용하여 간섭 신호를 제거하기 위하여 계속해서 가중치를 갱신한다. 가중치 갱신 방정식은 다음과 같다.

$$W(n+1) = W(n) + 2\gamma R_{UU}^{-1}U(n)e^*(n) \quad (11)$$

$$R_{UU} = E[U(n)U^H(n)] \quad (12)$$

$$0 < \gamma < \frac{1}{(K-1)L} \quad (13)$$

$R_{UU}^{-1}$ 는 주파수 영역의 입력 신호 벡터  $U(n)$ 의 자기상관도 행렬이다.  $\gamma$ 는 단계 상수로서 MSE가 수렴하기 위해서는 식 (13)의 조건을 만족하여야 한다. 식 (11)의 가중치 갱신 방정식에서  $R_{UU}^{-1}$ 의 역할은 적응 신호 처리를 조절하는 행렬의 고유치 확산 값을 줄이는 것이다. 그러나, 실제로는  $R_{UU}^{-1}$ 는 알지 못하므로 입력되는 신호들로부터 추정해야 한다.  $R_{UU}^{-1}$ 는 다음의 과정을 통하여 추정할 수 있다. 우선,  $R_{UU}$ 를 대각선 행렬로 근사 시킨다.

$$R_{UU} \approx \text{diag}(r_{0,1}, \dots, r_{L-1,1}, \dots, r_{0,K-1}, \dots, r_{L-1,K-1}) \quad (14)$$

$$r_{i,k} = E[|u_{i,k}(n)|^2] \quad (15)$$

$k$  번째 TDL의  $i$  번째 주파수 영역 신호의 전력을 나타내는  $r_{i,k}$ 는 식 (16)의 갱신 방정식에 의해서 반복적으로 추정된다.

$$\hat{r}_{i,k}(n) = \beta \hat{r}_{i,k}(n-1) + (1-\beta)|u_{i,k}(n)|^2 \quad (16)$$

$$0 < \beta < 1 \quad (17)$$

$\beta$  는 추정에 사용되는 smoothing 상수이다.  $\beta$  값이 1에 가까울수록 이전에 추정한 값의 영향을 많이 받게 되고, 0에 가까우면 새로운 입력 신호의 영향을 많이 받게 된다. 이렇게 대각선 성분을 추정하면  $R_{uu}^1$ 는 식 (18)과 같이 얻을 수 있다.

$$R_{uu}^1 \approx \text{diag}(1/r_{0,1}, \dots, 1/r_{L-1,1}, \dots, 1/r_{0,K-1}, \dots, 1/r_{L-1,K-1}) \quad (18)$$

이와 같이 추정한  $R_{uu}^1$ 을 가중치 갱신 방정식에 대입하여 가중치를 계속해서 갱신하여 간섭신호를 제거한다.

### 2.2 이차원 변환을 이용한 TDLMS-GSC

실제적인 대부분의 GSC의 응용에 있어서는 TDL의 탭 입력 신호 사이의 시간적 상관도뿐만 아니라 인접 어레이 입력 신호 사이의 공간적 상관도가 존재한다. 따라서 이 공간적 상관도도 제거해야만 수렴 속도를 더욱 향상시킬 수 있다. 식 (16)에서 가정한 것과는 달리 일차원 변환을 통해서만 공간적 상관도를 제거하지 못하므로  $R_{uu}$ 이 완전한 대각행렬이 되지 못한다. 공간적 상관도를 제거하기 위해서는 이차원 변환을 해야 한다. 즉, 이차원 변환을 사용해서 시간적 상관도와 공간적 상관도를 모두 제거해야지만  $R_{uu}$ 이 대각 행렬이 되고 수렴 속도도 더욱 향상된다.

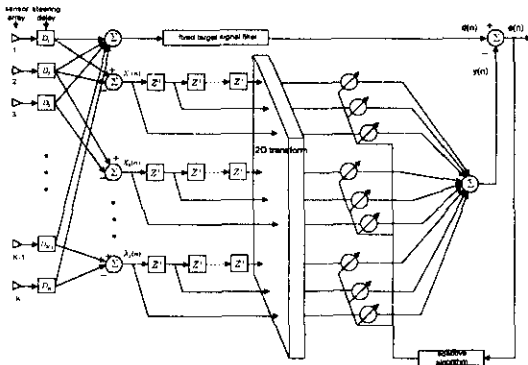


그림 2. 2D-TDLMS-GSC

그림 2는 이차원 변환을 이용한 2D-TDLMS-GSC의 구조이다. 각 TDL의 출력 신호를 이차원 변환을 사용하여 주파수 영역으로 변환한다. 변환을 이차원적으로 하는 것을 제외하고는 앞에서 설명한 FLMS-GSC에서의 모든 과정과 동일하다.

### III. C-GSC 알고리즘

기존의 GSC는 다중의 서로 다른 주파수의 간섭 신호를 제거하기 위하여 TDL을 사용하기 때문에 많은 가중치를 갱신하여야 하므로 계산량이 증가하게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 계산량을 줄일 수 있는 Censored-GSC 알고리즘을 제안하고자 한다.

시간 영역에서 LMS 알고리즘을 이용하여 가중치를 갱신하는 GSC에서는 입력 신호가 각 갱신시간마다 지연 소자를 지나면서 순차적으로 모든 가중치와 한번씩 곱해진다. 이러한 연산 방식을 인해서 모든 가중치를 매번 갱신하여야 한다. 반면에 FLMS 알고리즘을 이용하는 GSC는 TDL의 출력 신호를 주파수 영역으로 변환하므로 각 간섭 신호의 주파수에 따라 해당하는 대역의 가중치와 곱해지게 된다. 주파수 영역으로 변환된 신호의 크기(magnitude)를 비교하면 간섭 신호가 존재하는 주파수 성분의 크기가 간섭 신호가 존재하지 않는 주파수 성분의 크기보다 상대적으로 크게 된다. 따라서 크기를 비교한 후 값이 큰 주파수 성분의 가중치만을 갱신하여 보조 채널의 출력을 구한다.

간섭 신호의 주파수 대역에 해당하는 가중치만을 갱신하여 계산량을 줄일 수 있는 새로운 구조를 그림 3에 나타내었다.

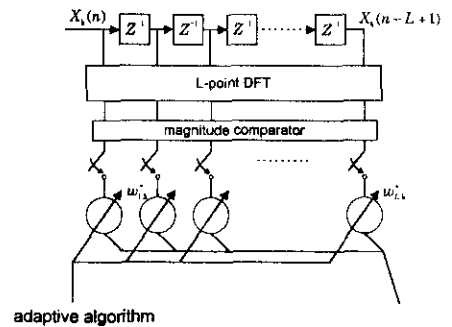


그림 3. C-GSC 알고리즘 구현을 위한 구조

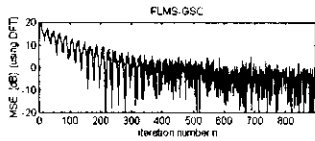
그림 3은 1D-FLMS-GSC에서 제안한 C-GSC 알고리즘을 적용한 각 TDL의 구조이다. 2D-TDLMS-GSC에서도 이차원 변환된 신호의 크기 비교를 통해 선택된 가중치만을 갱신하는 구조를 동일하게 적용할 수 있다.

이와 같이 제안한 C-GSC 알고리즘을 사용하면 기존의 GSC에 비하여 계산량을 크게 감소시킬 수 있다.

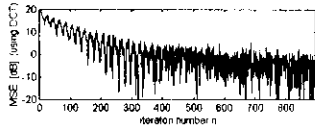
### IV. 모의 실험 결과

기존의 FLMS-GSC, 2D-TDLMS-GSC 의 성능과 제안한 선택된 가중치만을 갱신하는 C-GSC 의 성능을 모의 실험으로 비교하여 보았다. 모의 실험에 사용된 조건은 다음과 같다.

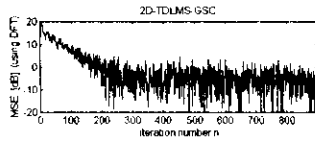
- 안테나 개수 ( $K$ ): 15
- 탭 길이 ( $L$ ): 8
- 표적 신호
  - 주파수 : 0.1, 입사각 : 0 도, SNR : 20dB
- 간섭 신호
  - ① 주파수 : 0.3, 입사각 : 34 도, JNR : 20dB
  - ② 주파수 : 0.3, 입사각 : 34 도, JNR : 20dB
  - ③ 주파수 : 0.3, 입사각 : 34 도, JNR : 20dB
- smoothing 상수 : 0.7
- 제안 GSC 에서 각 TDL 당 갱신하는 가중치 수 :  $L/2$  (즉, 8 개중 4 개의 가중치만을 갱신)



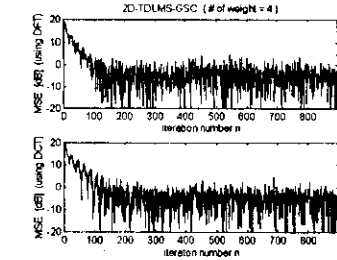
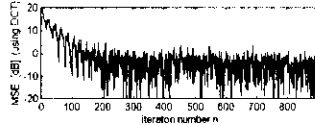
(a) 1D-FLMS-GSC



(b) 2D-TDLMS-GSC



(c) 제안한 Censored-1D-FLMS-GSC



(d) 제안한 Censored-2D-TDLMS-GSC

그림 4. 기존의 GSC 와 제안한 C-GSC 의 성능비교

### V. 결론

수렴속도 향상을 위한 주파수 영역 LMS 알고리즘을 이용한 GSC 에서 주파수 영역으로 변환된 신호의 크기 비교하고 난 후 선택된 가중치만을 갱신하여 간섭 신호를 제거할 수 있는 C-GSC 알고리즘을 제안하고 성능을 살펴 보았다. 제안한 C-GSC 알고리즘은 적은 수의 가중치를 갱신하므로 계산량이 크게 줄어들어서 기존의 방법에 비하여 훨씬 효율적인 GSC 를 구현할 수 있다.

### 참고 문헌

- [1] GRIFFITHS, L.J., and JIM, C.W.: 'An alternative approach to linearly constrained adaptive beamforming' *IEEE Trans. Antennas Propag.* 1982, AP-30, pp. 27-34
- [2] CHEN, Y.-H., and FANG, H.-D.: 'Frequency domain implementation of Griffith-Jim adaptive beamformer', *J. Acoust. Soc. Am.*, 1992, 91, pp. 3354-3366
- [3] J. AN, B. CHAMPAGNE: 'GSC realizations using the two-dimensional transform LMS algorithm', *IEE Proc. Radar, Sonar Navig.*, Vol. 141, No. 5, October 1994
- [4] FROST, III, O. L.: 'An algorithm for linearly constrained adaptive array processing', *Proc. IEEE*, 1972, 60, pp. 926-935
- [5] NARAYAN, S.S., PETERSON, A.M., and NARASIHMA, M.J.: 'Transform domain LMS algorithm', *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Process.*, 1983, ASSP-31, pp. 609-615
- [6] COMPTON, R.T. Jr.: 'Adaptive antennas' (Prentice-Hall. Englewood Cliffs, NJ, 1988)