

웨이브릿에 의한 주파수영역에서의 적응 HFLMS-GSC 알고리즘

이 정 연, 황 석 윤, *홍 춘 표, **임 중 수
대구대학교 정보과학부, *대구대학교 정보통신공학부, **국방과학연구소
전화 : 053-850-6415 / 핸드폰 : 011-9569-8881

Adaptive HFLMS-GSC Algorithm in Frequency Domain Based on Wavelets

Jeong Yeon Lee, Seok Yoon Hwang, *Chun Pyo Hong, **Joong Soo Lim
School of Information Science, Daegu University
E-mail : syhwang@daegu.ac.kr

Abstract

This paper propose a new GSC (Generalized Sidelobe Canceller) structure, called HFLMS-GSC. The number of complex multiplication required is reduced to one half compared to FLMS-GSC. The simulation results show that mean square error converging and jamming signal removing characteristics are almost the same compared to FLMS-GSC, although the complexity is reduced significantly. As a result, the proposed structure is good for real time implementation, since it has low complexity compared to previous GSC structures.

I. 서론

GSC 알고리즘은 Griffiths 와 Jim에 의하여 제안되었으며, 주 안테나와 보조안테나 대신에 배열 안테나들의 조합에 의한 주 채널과 보조채널을 형성하여 부엽제거를 하는 기법으로서, LMS 알고리즘을 적용하여 반복적으로 가중치를 갱신하는 방법을 이용하고 있다. LMS 알고리즘은 식이 간단하고 계산량이 비교적 적다는 장점이 있으나, 입력 신호의 고유치 변동폭이 넓게 분포되기 때문에 최적 가중치를 구하기 위한 수렴 속도가 저하되는 문제점이 발생한다. Chen 과 Fang 은 시간영역에서의 적응 LMS를 기반으로 한 이 알고리즘을 주파수영역에 적용시킴으로써 수렴속도를

개선시키는 FLMS-GSC 알고리즘을 제안하였고[2], 이어 An 과 Champagne 이 2차원 주파수영역에 적용하여 보다 수렴속도를 개선시키는 NDLM-GSC 알고리즘을 제안하였다[3]. 그러나 이들은 주파수 영역으로의 변환에 따른 계산량의 증가가 불가피하다.

본 논문에서는 계산량을 감소시키면서 MSE의 수렴속도는 거의 동일한 특성을 가지는 HFLMS-GSC 알고리즘을 제안한다. 이 알고리즘에 의한 빔형성기의 구조에서는 기존의 GSC가 갖는 배열안테나 출력신호의 가산기와 감산기필터를 웨이브릿 필터들로 해석함에 따라 FLMS-GSC 알고리즘이 갖는 계산량을 1/2로 줄일 수 있다. 또한, 모의실험을 통하여 수렴속도와 간섭신호제거 특성을 구하였으며, 이를 FLMS-GSC의 특성과 비교 분석한다.

II. 이론적 배경

2.1 GSC

GSC는 Griffiths와 Jim이 제안한 새로운 구조의 부엽 제거기로서[1], 이 구조는 주 안테나와 보조 안테나로 구분하여 별도로 구성하지 않고 여러 개의 동일한 안테나의 출력신호를 조합하는 방법에 따라 주 채널과 보조 채널을 형성한 다음 재밍 신호를 제거한다. 처음 제안된 GSC 는 시간 영역에서 구현을 하였으나, 그 이후에 주파수 영역에서 구현된 GSC 가 제안되었다.

Griffiths 와 Jim 이 제안한 시간 영역 LMS 알고리즘을 적용한 GSC 는 원하는 방향으로의 빔 형성을 위

하여 각각의 배열 소자 뒷 단에 지연 소자를 연결한다. 지연 소자의 출력 신호는 합쳐진 다음 표적 신호 여파기를 거친 신호 $d(n)$ 및 적응 시스템을 거친 신호 $y(n)$ 의 두 개 채널로 구분이 되어 출력 단으로 보내지게 된다. 주 채널에는 신호 $d(n)$ 이 출력되며, 표적 신호 및 재밍 신호 모두를 포함 할 수 있고 LMS 알고리즘 수행 시 기준신호로 이용된다. 안테나의 주빔이 지향하는 방향의 표적 신호 성분은 빔 조향을 위한 지연소자를 통과하고 나면 모든 신호가 동일한 위상을 갖는다. 따라서 인접한 두 배열 소자의 출력 값의 차 성분 $x(n)$ 은 표적 신호 성분이 제거된 간섭 신호로 간주 할 수 있다. 각 감산기의 출력 $x(n)$ 은 $L-1$ 개의 지연 소자를 가진 TDL (tapped delay line)을 거치면서 적응 신호처리 과정을 거친 다음 합쳐져서 신호 $y(n)$ 이 된다.

시간 영역 LMS 알고리즘을 적용한 GSC에서 초래되는 문제점을 해결하기 위하여 Chen과 Fang은 시간 영역의 LMS 알고리즘을 주파수 영역으로 변환하여 적응 알고리즘을 수행하는 새로운 형태의 GSC를 제안하였다[2]. 이 구조에서 K개의 배열 소자 및 지연 소자를 이용하여 표적신호의 방향으로 주 빔을 형성하는 것은 시간 영역에서의 LMS 알고리즘을 적용할 때와 동일하다. 또한 주 채널은 지연소자를 거친 안테나의 출력신호를 더한 후 $1/K$ 의 이득을 가지는 고정 표적신호 여파기로 구성되며, 보조채널은 $K-1$ 개의 감산기를 이용하여 표적신호 성분이 제거된 재밍 신호를 만들어 낸다. 다음으로 각 감산기의 출력은 $L-1$ 개의 지연 소자를 가진 TDL 을 거치면서 주파수영역 변환을 거쳐 주파수 영역의 적응 신호처리 과정을 거친 다음 합쳐져서 신호 $y(n)$ 이 된다. 이때 지연 소자를 거친 신호를 주파수 영역으로 변환하여 적응 신호처리 알고리즘을 적용함으로써 TDL의 각 탭 입력 신호간의 시간적 상관도를 제거하여 적응 신호 처리 시스템의 수렴 속도를 향상시킬 수 있다[3]. 그러나 이 알고리즘은 주파수영역 변환에 따른 계산량의 증가라는 문제점을 안고 있다.

2.2 Wavelet 필터뱅크를 이용한 적응 알고리즘

그림 1은 직교 wavelet 필터 뱅크의 decomposition 부분을 나타낸다[4].

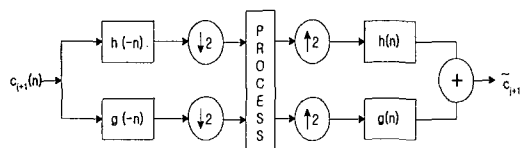


그림 3. 직교 wavelet 필터뱅크

그림 1에서 $h(n)$ 은 저역통과 필터, $g(n)$ 는 고역통과 필터로서 입력신호 C_{j+1} 를 2개의 대역으로 직교분해한 후 각각 downsampling하여 적절한 처리를 거치고 다시 upsampling한 신호들을 더하여 복원하는 절차를 거친다. 이러한 웨이브렛 필터뱅크의 분해와 복원의 두 과정에서 분해과정을 적응 신호처리에 적용하여 웨이브렛 기반 GSC 알고리즘을 구현하는 방법을 생각해 보자. 배열안테나 소자의 출력신호를 웨이브렛 저역통과 필터를 통과시킨 후 합한 값을 $d(n)$, 고역통과 필터를 통과시킨 값들에 가중치를 부여하여 합한 값을 $y(n)$ 이라 하면 적응신호 $e(n) = d(n) - y(n)$ 을 얻는다. 적응 LMS를 이용한 반복수행에 의하여 가중치를 갱신함으로써 $|e(n)|$ 을 최소화하는 과정을 계속한다. 이러한 과정을 그림 2와 같이 나타낼 수 있다.

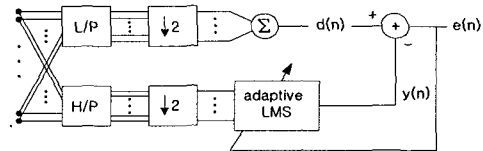


그림 4. Wavelet 기반 적응 알고리즘의 블록도

그림 2에서 보는 것처럼 고역통과 필터를 거친 후 downsampling한 신호를 적응 LMS 알고리즘에 적용하기 때문에 가중치 부여에 따르는 복소 곱셈의 수가 기존의 방법에 비해 반으로 감소하는 현상이 나타난다.

III. HFLMS-GSC 알고리즘

본 절에서는 이러한 계산량 및 간섭신호 제거 성능을 개선시키기 위해 FLMS-GSC 빔형성기의 가산기와 감산기를 각각 Haar 웨이브렛 저역통과필터와 고역통과필터로 해석하는 HFLMS-GSC를 제안한다. 그림 3은 본 연구에서 제안한 HFLMS-GSC 빔 형성기의 구조를 나타낸 것으로서, 그림에 표시된 것처럼 제안한 GSC에서는 일차적으로 기존의 FLMS-GSC의 데이터 흐름에 이산 wavelet의 관계식에 기초한 신호의 wavelet decomposition을 적용하여 중간 신호를 얻는다. 다음 단계로 이전 단계에서 구한 중간 신호들에 대하여 주파수 영역에서 각 주파수 대역별로 적응 알고리즘을 적용하여 최적의 가중치들을 얻는 방법을 채택하였다. 이 과정에서 본 연구에서는 FLMS_GSC 구조를 개선하는 일차적 단계로 다음 식 (1), (2)에 기술된 Haar 필터를 적용하였다.

$$\text{Lowpass 필터} : H(z) = \frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{1}{\sqrt{2}} z^{-1} \quad (1)$$

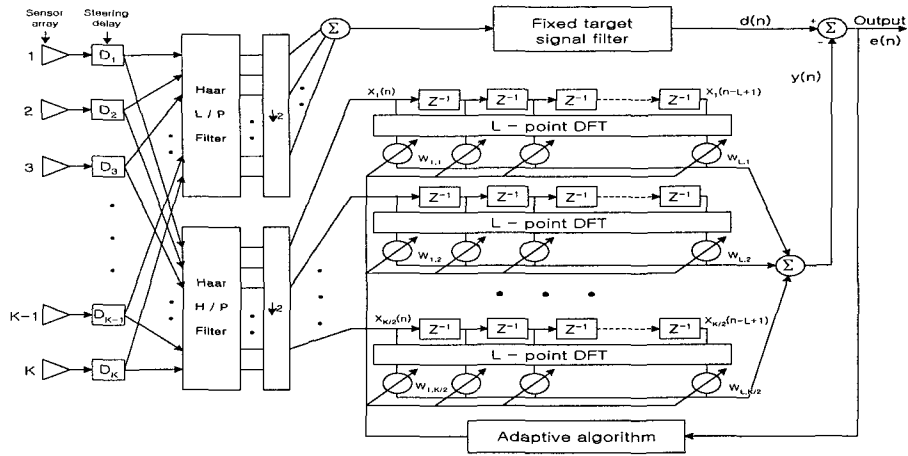


그림 3. HFLMS-GSC 구조

$$\text{Highpass 필터} : G(z) = \frac{1}{\sqrt{2}} - \frac{1}{\sqrt{2}} z^{-1} \quad (2)$$

그림 3의 GSC 구조에서 desired 신호 $d(n)$ 은 Haar 웨이브렛의 lowpass filter를 통과한 후 downsampling하여 합한 값과 일치하는 반면, reference 신호 $x_r(n)$ 을 얻은 후 downsampling을 하면 Haar 웨이브렛의 highpass filter를 통과한 값과 일치한다. 따라서 FLMS_GSC에서의 reference 신호 $x_r(n)$ 에서 $x_{2*r+1}(n)$ 는 전체적인 구조상 불필요한 계산항들로 분석될 수 있다.

이와 같이 Haar 웨이브렛 고역통과필터에 의한 출력신호의 개수가 1/2로 감소함에 따라 보조채널의 TDL 개수 또한 1/2로 감소한다. 따라서 주파수영역 변환에 따른 계산량을 반으로 줄일 수 있으며, 이 관계식은 식 (3), (4)로 나타낼 수 있다.

- FLMS-GSC 에 의한 반복주기당 복소곱셈 수

$$(K-1)L \log_2 L + 3.5(K-1)L \quad (3)$$

- HFLMS-GSC 에 의한 반복주기당 복소곱셈 수

$$(K/2)L \log_2 L + 1.75KL \quad (4)$$

IV. 성능 분석

본 연구에서 제안한 HLMS-GSC의 수렴속도와 간섭신호 제거 성능을 분석하기 위하여 모의실험을 통하여 MSE 곡선과 간섭신호들의 적응 빔 패턴을 구하였으며, 기존의 FLMS-GSC의 특성과 비교 분석하였다. 참고로 모의실험에 사용된 조건은 다음과 같다.

- 안테나 개수 $K=16$

- 탭 길이 $L=8$
- 표적신호 : 주파수 0.1, 입사각 0도, SNR 10dB
- 간섭신호 :
 - ① 주파수 0.3, 입사각 34도, JNR 20dB
 - ② 주파수 0.4, 입사각 -49도, JNR 40dB
 - ③ 주파수 0.25, 입사각 -24도, SNR 30dB

우선 FLMS-GSC 및 HFLMS-GSC 두 개 알고리즘에 대한 MSE 특성을 구하였으며, 그림 4에 그 결과가 기술되어 있다.

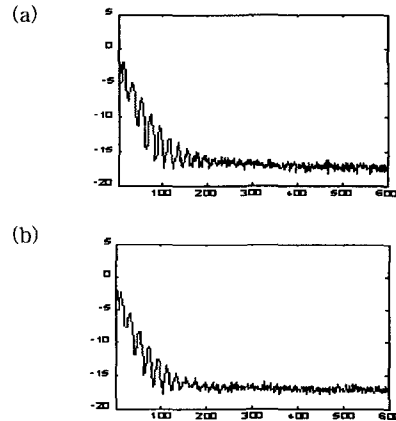


그림 4. MSE 특성 곡선 (a) FLMS-GSC (b) HFLMS-GSC

그림 4에 기술된 바와 같이 HFLMS-GSC 알고리즘은 FLMS-GSC 알고리즘에 비하여 계산량이 1/2로 감소됨에도 불구하고 MSE 곡선은 수렴속도의 성능면

에서 거의 동일함을 보여주고 있다.

다음으로 본 연구에서 제안한 HFLMS-GSC 알고리즘에 의한 간섭신호 제거 성능을 확인하기 위해 각 간섭신호의 적응 빔패턴이, 그림 5에 그 결과가 기술되어 있다.

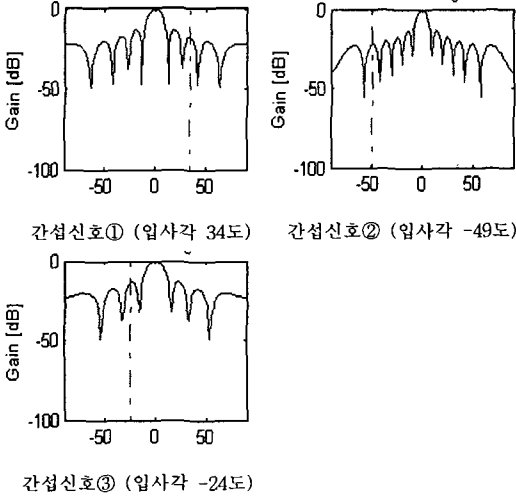


그림 5. HFLMS-GSC 알고리즘 적용이전 간섭 신호의 빔패턴

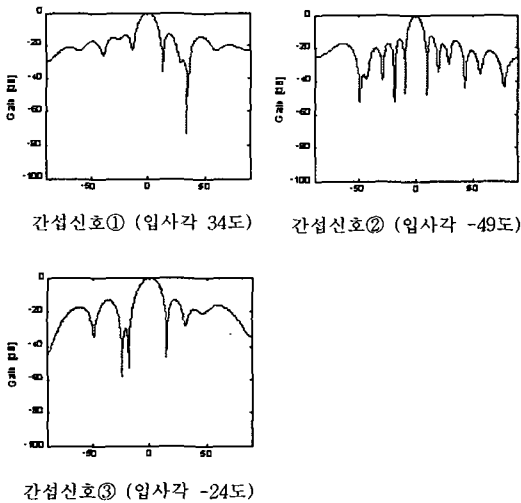


그림 6. HFLMS-GSC 알고리즘 적용이후 간섭신호의 적응 빔패턴

그림 5는 특정 방향의 간섭 신호에 대한 적응 신호 처리 알고리즘을 적용시키기 전의 빔 패턴을 나타낸다. 그림에 표시된 것처럼 간섭 신호 방향인 34도, -49도, -29도에서 부엽 레벨이 전혀 감소되지 않음을

알 수 있다. 만약 GSC를 통과한 다음 동일한 방향에서의 부엽 레벨 감소폭이 크면 클수록 GSC의 성능은 우수하다고 판단할 수 있다. 그림 6은 본 연구에서 제안한 HFLMS-GSC 알고리즘을 적용시킨 결과로서, 그림에 기술된 바와 같이 3개의 간섭신호들이 동시에 잘 제거됨을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 이산 wavelet 변환 알고리즘을 적용한 GSC 알고리즘인 HFLMS-GSC를 제안하였다. 제안된 HFLMS-GSC에서 필요로 하는 복소 곱셈 수를 구해보면, FLMS-GSC와 비교하여 약 절반으로 감소하는 특성을 가지고 있다. 시뮬레이션 결과 제안된 알고리즘은 FLMS-GSC 알고리즘에 비하여 계산량이 1/2로 감소됨에도 불구하고 MSE 곡선은 수렴속도의 성능면에서 거의 동일한 특성을 가진다. 또한 제안된 알고리즘은 간섭신호 제거 성능 면에서도 특성이 양호하였다. 이상의 계산량 분석 및 시뮬레이션 결과를 종합해보면, 본 연구에서 제안한 HFLMS-GSC 알고리즘은 기존의 FLMS-GSC 알고리즘에 비해 계산량은 절반으로 감소시키면서 MSE 및 간섭신호 제거 특성은 거의 동일함을 알 수 있다. 따라서 HFLMS-GSC를 이용할 경우 기존의 GSC 구조에 비하여 실시간 구현 가능성이 훨씬 증대된다고 할 수 있다.

참고문헌

- [1] L. J. Griffiths and C. W. Jim, "An Alternative Approach to Linearly Constrained Adaptive Beamforming," *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, Vol AP-30, No. 1, pp. 27-34, Jan. 1981.
- [2] Y. H. Chen and H. D. Fang, "Frequency-Domain Implementation of Griffiths-Jim Adaptive Beamformer", *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 91, No. 6, pp. 3354-3366, June 1992.
- [3] J. An and B. Champagne, "GSC Realizations Using the Two-Dimensional Transform-Domain LMS Algorithm", *IEE Proc. Radar, Sonar, Navig.*, Vol. 141, No. 5, Oct. 1994.
- [4] P. Duhamel et al., "Guest Editor Introduction: Wavelets and Signal Processing," *IEEE Trans., Signal Processing*, Vol. 11, No.12, pp. 3213-3215, 1993.