

웨이브렛 필터 기반의 시간 영역 GSC 알고리즘

정희원 홍 춘 표*, 김 창 훈*, 황 석 윤**, 양 진 모*^o

A Time-Domain GSC Algorithm Based on Wavelet Filter

Chun Pyo Hong*, Seok Yoon Whang**, Chang Hoon Kim*, Jeen Mo Yang*^o *Regular Members*

요 약

Griffiths-Jim이 제안한 GSC 알고리즘은 선형배열 안테나들의 조합에 의한 주 채널과 보조채널을 형성하고 적응 LMS를 이용하여 부엽제거를 하는 방식을 이용한다. 본 논문에서는 Griffiths-Jim이 제안한 LMS-GSC 구조에서 배열 안테나 출력신호를 처리하는 감산기 필터 대신에 Haar 및 Daubechies 웨이브렛 필터로 해석한 WLMS-GSC 알고리즘을 제안하였다. 제안한 WLMS-GSC 알고리즘에 대한 구조적인 특성 분석 결과 LMS 알고리즘에 비해서 연산량이 절반으로 감소되었다. 또한 시뮬레이션을 통하여 MSE 특성 곡선 및 재밍 신호들의 적응 빔 패턴을 구한 다음, LMS-GSC와 성능을 비교 분석하였다. 성능 분석 결과 본 논문에서 제안한 GSC 알고리즘은 기존의 LMS-GSC 알고리즘에 비하여 더 우수하거나 동일한 특성을 유지하면서 연산량이 약 절반으로 감소되었기 때문에, 시스템 구현시 하드웨어 복잡도를 절반으로 감소시킬 수 있다는 장점이 있다.

Key Words : LMS algorithm, GSC(Generalized Sidelobe Canceller), Beamforming, Wavelet filter, MSE(Mean Square Error)

ABSTRACT

Griffiths and Jim has proposed a beamforming structure called GSC algorithm, in which antenna elements are grouped into main-channel and sub-channel, and sidelobe is reduced by applying adaptive LMS algorithm. This paper proposes WLMS-GSC algorithm where the Haar and Daubechies wavelet filters are used to process array antenna output, instead of using subtractor filter. We analyze characteristics of the proposed WLMS-GSC algorithm. The WLMS-GSC has characteristic of reducing the computational requirement one-half compared to the LMS-GSC algorithm. In addition, we obtain MSE characteristics and adaptive beampattern of WLMS-GSC algorithm, and compared with the performance of LMS-GSC algorithm. The simulation results show that the WLMS-GSC algorithm proposed in this paper gives better or almost the same performance, compared to the LMS-GSC algorithm. In addition, the newly proposed structure has advantage of low computational requirements.

I. 서 론

일반적으로 방향성을 갖는 안테나 시스템은 전자 방해책(Electronic Counter Measures: ECM)에 대처할 수 있는 전자 방해 방어책(Electronic Counter Counter Measures: ECCM) 기법으로 활용될 수 있다^{15,17}. 이들 시스템의 대표적인 예로 저 부엽 레벨

안테나, 부엽 차단 (Side Lobe Blanking: SLB) 시스템, 부엽 제거기 (Side Lobe Canceller: SLC), 그리고 적응 배열 안테나 시스템 등을 들 수가 있다^{4,10,15}. 저 부엽 레벨 안테나는 부엽을 통해서 수신되는 모든 간섭 신호를 제거할 수 있는 장점이 있으나, 저 부엽 시스템을 달성하기 위해서는 주 빔폭이 증대되는 문제점이 따른다. SLB 시스템은 ECM

* 본 연구는 2006학년도 대구대학교 학술연구비에 의하여 수행되었음

* 대구대학교 정보통신대학(cphong@daegu.ac.kr, kimch@daegu.ac.kr, jmyang@daegu.ac.kr), (° : 교신저자)

** 대구대학교 수학과(syhwang@daegu.ac.kr)

논문번호 : KICS2010-02-049, 접수일자 : 2010년 2월 4일, 최종논문접수일자 : 2010년 10월 26일

환경에서 강한 표적 또는 간섭 신호가 안테나 부엽을 통해서 수신되는 것을 차단하기 위한 장치이다. 이와는 달리 SLC는 표적 신호의 도래 방향과 재밍 신호의 출력을 적절히 적응시켜 재밍 신호의 방향을 예측한 다음, 레이다 안테나의 수신 패턴을 변경시켜 재밍 신호의 방향 쪽으로 수신이 안 되도록 레이다의 보조 안테나의 배열을 조작하는 방법이다^{13,15)}. 일반적으로 SLB 시스템은 펄스성의 재밍 신호 제거에 효과적이며, SLC는 듀티 사이클이 큰 시간적으로 지속되는 재밍 신호를 제거하는데 효과적이다. 적응 배열 안테나 시스템은 SLC의 개념을 일반화시킨 것으로서 재밍 신호를 제거하고 표적 신호를 추출해낼 수 있을 뿐만 아니라 ECCM을 효과적으로 수행 할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 SLC는 안테나를 주 안테나와 보조 안테나로 구분하여 시스템을 구성해야 하며, 이러한 단점을 해결하기 위해서 Griffiths와 Jim 은 GSC(Generalized Side Lobe Canceller) 라는 새로운 구조의 부엽제거기를 제안하였다⁷⁾.

GSC 는 SLC와는 달리 안테나를 주 안테나와 보조 안테나로 구분하여 별도로 구성하지 않고 선형배열 안테나들의 조합에 의하여 주 채널과 보조 채널을 형성하고 적응 LMS(Least Mean Square)¹⁶⁾를 이용하여 부엽을 제거하는 구조를 가진다. 시간 영역에서 적응 LMS 알고리즘의 적용은 계산량이 비교적 적은 장점을 갖고 있으나, 입력 상관도 행렬의 고유치 확산 값이 크면 MSE(Mean Square Error)

의 수렴속도가 느린 단점을 안고 있다. 본 논문에서는 Griffiths-Jim 이 제안한 LMS-GSC 구조에서 배열 안테나 출력신호를 처리하는 가산기와 감산기 필터 대신에 Haar 및 Daubechies 웨이브렛 필터로 해석한 WLMS-GSC(Wavelet_Filter_Based Least Mean Square-GSC) 알고리즘을 제안한다. 제안한 WLMS-GSC 알고리즘에 대한 구조적인 특성을 분석하였으며, 또한 시뮬레이션을 통하여 수신된 표적 신호 특성, MSE 특성 곡선 및 재밍 신호들의 적응 빔 패턴을 구한 다음, LMS-GSC와 성능을 비교 분석하였다.

II. GSC 알고리즘

Widrow의 LMS 알고리즘을 이용하여 Griffiths와 Jim은 새로운 구조의 부엽 제거기인 LMS-GSC를 제안하였으며, 그림 1은 이들이 제안한 LMS-GSC의 블록 다이어그램을 나타낸다⁷⁾.

그림 1에 기술된 것처럼 원하는 방향으로의 빔형성을 위하여 각각의 배열 소자 뒷단에 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 기준 신호로 이용된다. 안테나의 주 빔이 지향하는 방향의

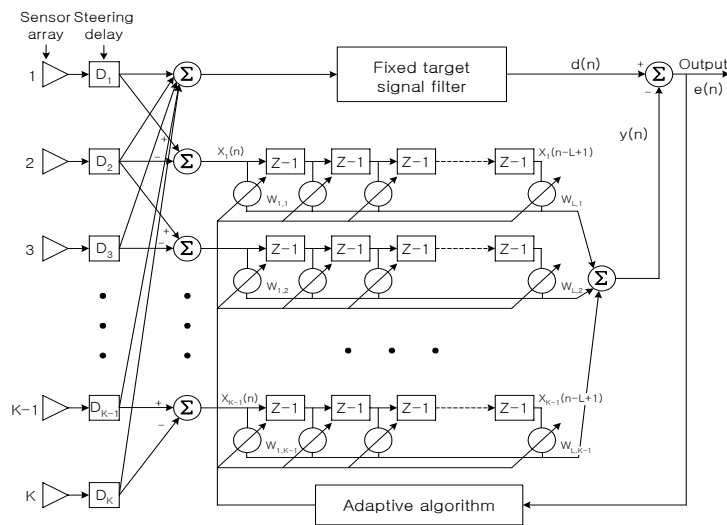


그림 1. LMS-GSC 의 구조

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 간주할 수 있다. 각 감산기의 출력 $x(n)$ 은 $L-1$ 개의 지연 소자를 가진 TD(L) (Tapped Delay Line)을 거치면서 적응 신호처리 과정을 거친 다음 합쳐져서 신호 $y(n)$ 이 된다. 이때 각 채널을 통과한 두 신호에서 발생하는 오차의 제곱 $e(n)^2 = |d(n) - y(n)|^2$ 을 최소화하기 위하여 LMS 알고리즘을 적용하여 반복적으로 가중치를 갱신하는 방법을 이용하고 있다. LMS 알고리즘은 식이 간단하고 계산량이 비교적 적다는 장점이 있으나, 시간 영역에서 처리할 경우 입력 신호의 고유치 변동 폭이 넓게 분포되기 때문에 최적 가중치를 구하기 위한 수렴 속도가 저하되는 문제점이 발생한다. 결과적으로 수렴 속도의 저하 때문에 적응 GSC 의 성능이 떨어지는 결과를 초래한다.

시간영역 LMS 알고리즘을 적용한 GSC에서 초래되는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 Chen과 Fang은 시간 영역의 LMS 알고리즘을 주파수 영역으로 변환하여 적응 알고리즘을 수행하는 새로운 형태의 FLMS-GSC(Frequency_Domain LMS-GSC)를 제안하였다^[5]. 이 구조는 기본적으로 K 개의 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 만들어낸다. 다음으로 각 감산기의 출력은 $L-1$ 개의 지연 소자를 가진 TD(L) 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 TD(L)의 각 탭 입력 신호 간의 시간적 상관도를 제거하여 적응 신호 처리 시스템의 수렴 속도를 향상시킬 수 있다. 그러나 이 알고리즘은 주파수영역 변환에 따른 계산량의 증가라는 문제점을 여전히 안고 있다^[5,6].

일반적으로 배열 소자에 입력되는 재밍 신호로부터 구한 TD(L)의 각 탭 간의 신호 사이에는 시간적 상관도가 존재하며, 인접 채널의 TD(L) 신호 값 사이에는 공간적 상관도가 존재한다. 그림 1의 구조를

가지는 LMS-GSC 에서는 시간적 상관도만 제거를 시킬 수가 있다. 만약 시간적 상관도 뿐만 아니라 공간적 상관도의 제거가 가능하다면, 최적 가중치 벡터를 구하기 위한 수렴 속도를 향상시킬 수 있다. An과 Champagne는 입력신호에 대하여 2차원 변환을 수행하여 시간적 상관도와 공간적 상관도를 모두 제거함으로써 수렴 속도를 더욱 향상시킨 2차원 주파수 영역 GSC를 제안하였다^[3]. 이 구조는 2차원으로 변환이 이루어지는 것을 제외하고는 1차원 주파수 영역 GSC와 동일한 과정으로 적응 알고리즘이 수행된다.

이러한 이차원 주파수 영역 GSC에서는 $y(n)$ 및 $d(n)$ 이 시간영역 신호이기 때문에 적응 알고리즘 적용 시에 시간 정보를 이용한다. 따라서 이러한 구조의 GSC 는 narrowband decomposition 의 조건을 만족시키지 못한다. An과 Champagne 은 이러한 문제점을 해결하기 위하여 새로운 형태의 2D-NDLMS-GSC 구조를 제안하였다^[3]. 이 구조는 인접한 TD(L) 채널 사이의 공간적 상관도를 제거함으로써 Chen-Fang 이 제안한 FLMS-GSC에 비해 수렴이 빠르다는 장점이 있다. 이 외에도 기본적인 GSC의 구조를 바탕으로 다양한 형태의 새로운 GSC 가 제안되었으며, 그 응용 분야도 레이더에 한정되지 않고 잡음제거 및 스마트안테나 시스템 등의 빔 포밍 기법으로 활용되고 있다^{[11,12],[8],[9][11-13]}.

III. WLMS-GSC 알고리즘

본 절에서는 Griffiths-Jim이 제안한 LMS-GSC 구조에 웨이브렛 기반 적응 LMS 알고리즘을 적용한, 즉 감산기를 웨이브렛 필터로 해석하는 WLMS-GSC를 제안하였다. 그림 2에 본 논문에서 제안한 WLMS-GSC 빔 형성기의 구조가 도시되어 있다.

그림 2에서 보는 바와 같이 본 논문에서 제안한 WLMS-GSC 에서는 일차적으로 기존의 Griffiths-Jim 의 LMS-GSC 가 구성하는 감산기에 의한 배열 안테나 출력신호의 처리 대신에, 이산 웨이브렛 필터 बैं크의 해석고역통과필터(analysis high pass filter)를 적용하여 보조 채널의 입력신호를 생성한다. 다음 단계는 기존 GSC 의 처리과정, 즉 적응 LMS 알고리즘에 의한 최적의 가중치를 얻는 방법을 채택하였다. 이 과정에서 LMS-GSC 구조를 개선하는 일차적 단계로 식(1), (2), (3), (4) 에 기술된 웨이브렛 필터를 적용하였다^[14].

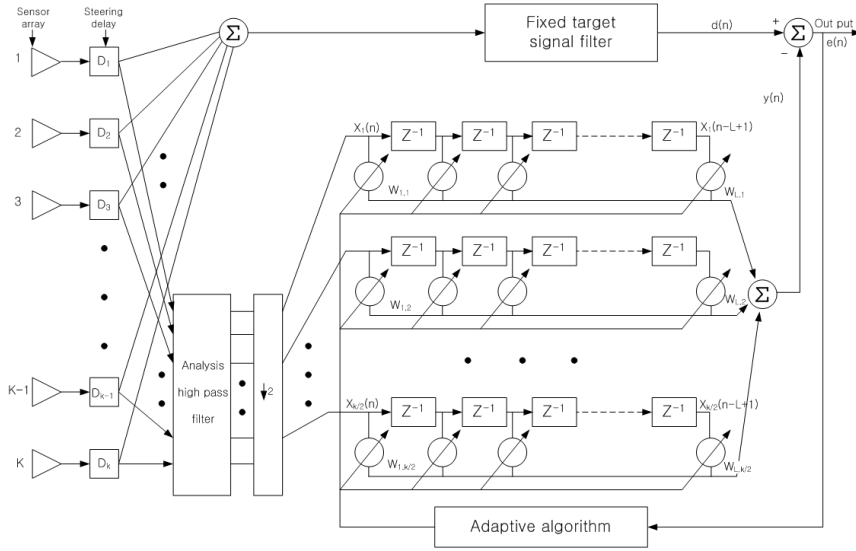


그림 2. WLMS-GSC의 구조

○ Haar 웨이브렛 필터

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

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

○ Daubechies 웨이브렛 필터

- 저역통과 필터 :

$$H(z) = \frac{1}{4} [(1 + \sqrt{3}) + (3 + \sqrt{3})z^{-1} + (3 - \sqrt{3})z^{-2} + (1 - \sqrt{3})z^{-3}]$$
 (3)

- 고역통과 필터 :

$$G(z) = \frac{1}{4} [(1 - \sqrt{3}) - (3 - \sqrt{3})z^{-1} + (3 + \sqrt{3})z^{-2} - (1 + \sqrt{3})z^{-3}]$$
 (4)

그림 2의 WLMS-GSC 구조에서 신호 $d(n)$ 은 웨이브렛 저역통과 필터를 통과한 후 다운샘플링하여 합한 값을 전대역 통과 필터를 통과시킨 신호로서, 기존의 LMS-GSC 구조에서 형성하는 desired 신호 $d(n)$ 과 동일한 의미를 가진다.

기준(reference) 신호는 해석 과정에 의하여 생성된 고주파수 성분으로 인접한 배열 안테나 소자 출력신호의 차이 값을 다운샘플링 한 것이다. 따라서 다운샘플링 과정을 거치지 않은 신호를 기준 신호로 채택하는 기존의 LMS-GSC는 웨이브렛 필터에 의해서 기준 신호가 형성되는 구조와 비교했을 때 구조상의 계산 량은 절반이 불필요한 연산들로 분석될 수 있다.

3.1. 수학적 해석

$K_1 \times K_2$ 의 평면배열 안테나소자의 출력신호들을 각각 $u_{ij}(t)$, $0 \leq i < K_1$, $0 \leq j < K_2$ 이라 하고, 이들을 1차원으로 배열한 신호를 $u_k(t)$ 라 하자. 즉,

$$u_k(t) = u_{ij}(t), k = jK_1 + i, 0 \leq i < K_1, 0 \leq j < K_2$$
 (5)

참고로 식 (5)에서 안테나 소자의 개수가 K_1 인 직선배열 안테나인 경우는 $K_2 = 1$, 즉 $K_1 \times 1$ 인 평면배열 안테나로 나타낼 수 있다. 이 신호에서 웨이브렛 필터 뱅크의 분해과정에 의하여 생성된 고주파 성분을 $x_j(t)$, $j = 0, 1, \dots, K_1 K_2 / 2 - 1$ 로 나타내면 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$x_j(t) = u_{2j}(t) - u_{2j+1}(t), j = 0, 1, \dots, K_1 K_2 / 2 - 1$$
 (6)

식 (6)에서 j 번째 재밍 성분 신호 $x_j(t)$ 의 샘플링에 의한 이산신호를 $x_j(n)$ 이라 하면 시간 $t = n$ 에서 생성된 reference 신호를 벡터 $X(n)$ 으로 식 (7)과 같이 표현할 수 있다.

$$X(n) = [X_0^T(n), X_1^T(n), \dots, X_{K_1 K_2 / 2 - 1}^T(n)]^T,$$

$$X_j(n) = [x_j(n), x_j(n-1), \dots, x_j(n-L+1)]^T, \quad j = 0, 1, \dots, K_1 K_2 / 2 - 1$$
 (7)

여기서 X_j 는 j 번 째 TDL 벡터이다. 적응 LMS 알고리즘을 이용한 부엽 제거를 위하여 재밍 신호 벡터 $X(n)$ 에 가중치 벡터 $W(n)$ 을 다음 식 (8) 과 같이 부여한다.

$$W(n) = [W_0^T(n), W_1^T(n), \dots, W_{K_1K_2/2-1}^T(n)]^T,$$

$$W_j(n) = [w_j(n), w_j(n-1), \dots, w_j(n-L+1)]^T, \quad (8)$$

$$j = 0, 1, \dots, K_1K_2/2 - 1$$

여기서 시간과 공간영역에서의 재밍 신호들을 구성하는 TDL에 가중치를 부여한 값들의 합 $y(n)$ 은 식 (9)와 같다.

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

여기서 H 는 Hermite 연산이다.

Desired 신호 $d(n)$ 에 대한 오차신호 $e(n) = d(n) - y(n)$ 의 제곱을 최소화하여 재밍 신호를 제거하기 위한 최적 가중치를 구하기 위해 Widrow 등이 제안한 LMS 알고리즘을 사용하여 반복적으로 가중치를 갱신한다. 이때 가중치 갱신 방정식은 식 (10)과 같다.

$$W(n+1) = W(n) + 2\mu X(n) e^*(n) \quad (10)$$

식 (10)에서 μ 는 LMS 알고리즘의 수렴속도와 안정성을 제어하는 step size이다.

3.2 연산량 비교

본 논문에서 제안한 WLMS-GSC 구조에서는 Harr 및 Daubechies 웨이브렛 필터의 고역통과 필터를 통과한 후 downsampling에 의한 출력신호의 개수가 1/2 로 감소함에 따라 보조채널의 TDL 개수 또한 1/2 로 감소한다. 따라서 적응 LMS 알고리즘의 가중치 부여에 따르는 복소 곱셈의 수를 약 절반으로 줄일 수 있다. 표 1은 두 개 GSC 구조의 연산량을 비교한 것이다. 표 1에 설명된 바와 같이 반복주기 당 복소 곱셈 수는 WLMS-GSC가 LMS-

표 1. Griffith-Jim의 LMS-GSC 와 WLMS-GSC 의 연산량 비교

구 분	LMS-GSC	WLMS-GSC
반복주기 당 복소 곱셈 수	$2(K_1K_2 - 1)L$	K_1K_2L

GSC 에 비해서 약 절반으로 감소됨을 알 수 있다.

IV. 시뮬레이션

시뮬레이션을 통하여 본 논문에서 제안한 WLMS-GSC의 특성과 LMS-GSC 특성을 비교 분석하였으며, 시뮬레이션은 Haar 및 Daubechies 웨이브렛 필터 각각에 대하여 수행을 하였다. 각 알고리즘에 대하여 복원된 수신표적신호, MSE 특성 곡선 및 재밍 신호들의 적응 빔 패턴을 구한 다음, Griffiths-Jim 이 제안한 LMS-GSC와 성능을 비교 분석하였다.

4.1 시뮬레이션 조건

본 논문에서 제안한 알고리즘의 성능 분석을 위한 시뮬레이션 조건은 표 2 와 같다.

표 2에 기술된 바와 같이 본 논문에서 제안한 WLMS-GSC 알고리즘의 특성 분석을 위하여 표적 신호와 세 가지의 재밍 신호를 시뮬레이션에 적용하였다.

그림 3은 시뮬레이션에 사용된 표적 신호의 일부를 나타낸 것으로서 GSC 의 성능 분석 시 수신된 표적신호가 그림 3의 표적신호와 유사할수록 성능이 우수하다. 그림 4는 1차원 배열 안테나의 GSC 알고리즘 적용 이전의 표적 및 간섭신호의 빔 패턴을 나타내며, GSC 알고리즘 적용 후 간섭신호 방

표 2. 시뮬레이션 조건

구 분			
안테나개수 (K)	16 (일차원 배열 안테나)		
탭 길이 (L)	8		
표적신호	주파수 (normalized frequency)	입사각	SNR 또는 JNR
	0.1	0 도	10 dB
간섭신호 ①	0.3	34 도	20 dB
간섭신호 ②	0.4	-49 도	40 dB
간섭신호 ③	0.25	-24 도	30 dB

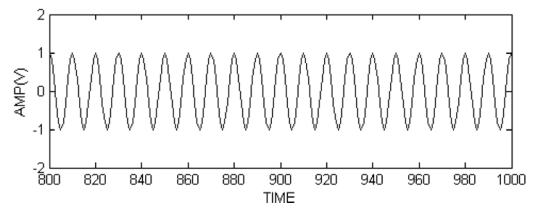


그림 3. 시뮬레이션에 사용된 표적신호

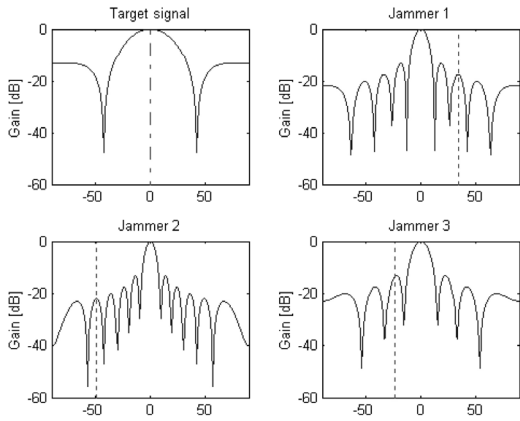
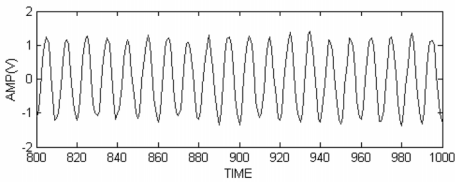


그림 4. 1차원 배열 안테나의 표적 및 간섭신호의 빔 패턴

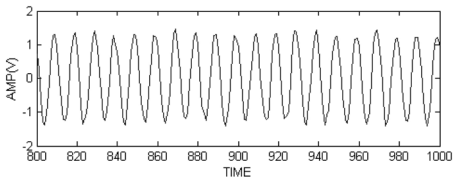
항의 부엽 레벨 감소폭이 크면 클수록 GSC 의 성능은 우수하다고 판단할 수 있다.

4.2 시뮬레이션 결과

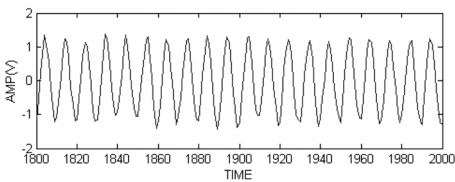
우선 Griffiths-Jim 의 LMS-GSC 와 WLMS-GSC 두 개 알고리즘에 대하여 Haar 및 Daubechies 웨이브렛 필터를 적용했을 때 수신된 표적신호의 특성을 각각 구하였으며, 그림 5에 그 결과가 기술되어



(a) LMS-GSC 의 수신 표적신호 특성



(b) WLMS-GSC 의 수신 표적 신호 특성 I (Haar 웨이브렛 필터 적용)

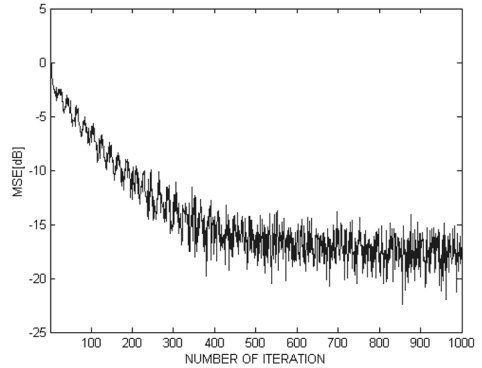


(c) WLMS-GSC 의 수신 표적 신호 특성 II (Daubechies 웨이브렛 필터 적용)

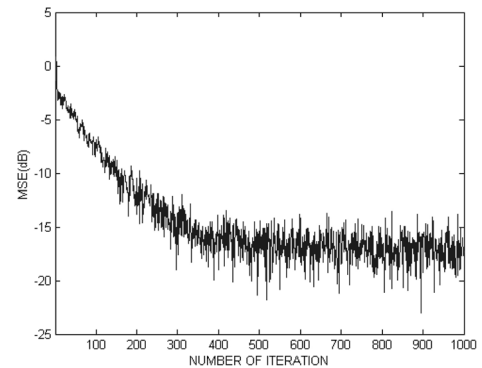
그림 5. 1차원 배열 안테나에 대한 수신 표적 신호 특성

있다. 그림에 기술된 것처럼 WLMS-GSC 알고리즘의 수신 표적신호 특성은 양호함을 알 수 있다.

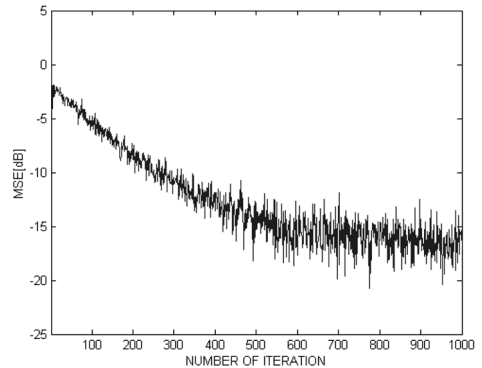
다음으로 MSE 특성을 구하였으며, 그림 6에 그 결과가 기술되어 있다. 그림 6에 기술된 바와 같이 WLMS-GSC 알고리즘은 LMS-GSC 알고리즘에 비하여 계산량이 1/2로 감소됨에도 불구하고 적용



(a) LMS-GSC 의 MSE 특성



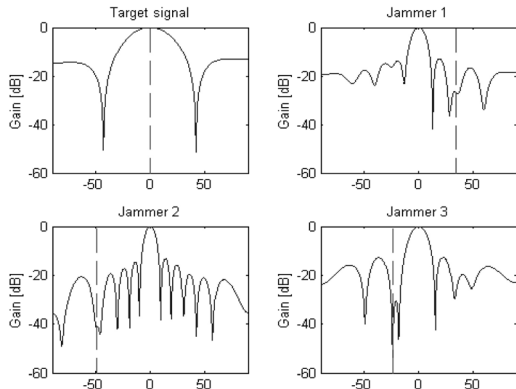
(b) WLMS-GSC 의 MSE 특성 I (Haar 웨이브렛 필터 적용)



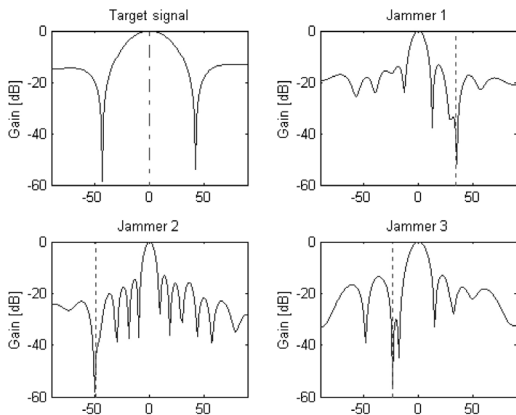
(c) WLMS-GSC 의 MSE 특성 II (Daubechies 웨이브렛 필터 적용)

그림 6. 1차원 배열 안테나에 대한 MSE 특성

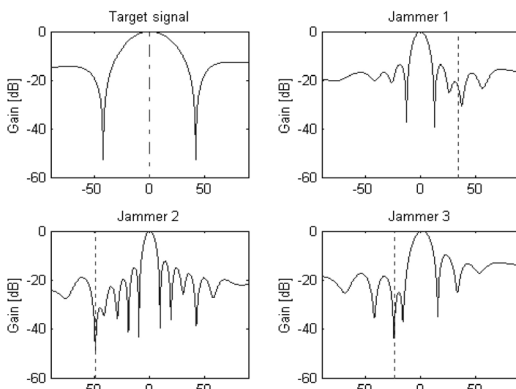
한 웨이브렛 필터의 종류에 상관없이 MSE 특성은 수렴 속도 및 성능 측면에서 거의 동일함을 알 수 있다.



(a) LMS-GSC 알고리즘 적용 후의 적응 빔 패턴 특성



(b) WLMS-GSC 알고리즘 적용 후의 적응 빔 패턴 특성 I (Haar 웨이브렛 필터 적용)



(c) WLMS-GSC 알고리즘 적용 후의 적응 빔 패턴 특성 II (Daubechies 웨이브렛 필터 적용)

그림 7. 1차원 배열 안테나에 대한 간섭신호의 적응 빔 패턴 특성

다음으로 Griffiths-Jim의 LMS-GSC와 본 논문에서 제안한 WLMS-GSC에 대한 각 간섭신호들의 적응 빔 패턴 특성이 그림 7에 기술되어 있다.

그림 7에 기술된 것처럼 WLMS-GSC 알고리즘 적용 후의 빔 패턴을 알고리즘 적용전의 빔 패턴인 그림 4와 비교해 보면 간섭 신호 방향인 34도, -49도, -24도에서 부엽 레벨의 감소 특성이 우수함을 알 수 있다. 또한 WLMS-GSC 알고리즘의 경우 Haar 웨이브렛 필터를 적용한 경우가 Daubechies 웨이브렛 필터를 적용한 경우보다 전체적으로 간섭 신호의 적응 빔 패턴 특성이 더 양호하다는 것을 알 수 있다. 그림 7(b)에 기술된 것처럼 Haar 웨이브렛 필터를 적용한 경우 LMS-GSC 알고리즘 적용 후의 빔 패턴과 비교해 보면 특히 34도 방향의 간섭신호 제거 특성은 훨씬 더 우수함을 알 수 있다. 이외는 달리 그림 7(c)에 기술된 것처럼 Daubechies 웨이브렛 필터를 적용한 경우 간섭 신호 방향 34도에서는 상대적으로 부엽 레벨이 덜 감소했다. 하지만 알고리즘의 반복회수를 증가시키면 부엽 제거 특성이 개선됨을 확인하였다.

4.3 성능 분석

시뮬레이션 결과 본 논문에서 제안한 WLMS-GSC 알고리즘은 Griffiths-Jim의 LMS-GSC 알고리즘에 비하여 계산량이 1/2로 감소됨에도 불구하고 수신된 표적 신호 특성은 거의 동일함을 알 수 있다. 또한 본 논문에서 제안한 WLMS-GSC 알고리즘의 MSE 특성이 수렴 속도 및 성능 측면에서 LMS-GSC 알고리즘에 비하여 동일하거나 더 우수함을 알 수 있다. 또한 본 논문에서 제안한 WLMS-GSC 알고리즘은 간섭신호 제거 성능 면에서도 우수한 특성을 보여주고 있다. 또한 웨이브렛 필터의 선택과 관련해서는 Haar 웨이브렛 필터를 적용한 경우가 Daubechies 웨이브렛 필터를 적용한 경우보다 전체적으로 간섭신호의 적응 빔 패턴 특성이 더 양호하다는 것을 알 수 있다.

이상의 계산량 분석 및 시뮬레이션 결과를 종합해 보면, 본 논문에서 제안한 WLMS-GSC 알고리즘은 LMS-GSC 알고리즘에 비해 계산량은 절반으로 감소시키면서 수신 표적 신호 특성, MSE 특성 및 간섭신호 제거 특성은 거의 동일하거나 더 우수함을 알 수 있다. 따라서 WLMS-GSC를 이용할 경우 연산량이 약 절반으로 감소되면서 LMS-GSC 알고리즘에 비해 필터 특성은 우수하거나 동일한 특성을 유지하였다.

V. 결 론

본 논문에서는 Griffiths-Jim 이 제안한 LMS-GSC 구조에서 배열 안테나 출력신호를 처리하는 감산기 필터 대신에 Haar 및 Daubechies 웨이브렛 필터로 해석한 WLMS-GSC 알고리즘을 제안하였다. 제안한 WLMS-GSC 에 대한 구조적인 특성을 분석한 결과 LMS-GSC 구조에 비하여 계산량을 절반으로 감소시킬 수 있음을 알 수 있다. 또한 시뮬레이션을 통하여 복원된 표적신호, MSE 특성 곡선, 그리고 재밍 신호들의 적응 빔 패턴을 구한 다음, LMS-GSC와 성능을 비교 분석하였다. 분석 결과, 본 논문에서 제안한 WLMS-GSC 알고리즘은 LMS-GSC 알고리즘에 비해 계산량은 절반으로 감소시키면서 수신 표적 신호 특성 및 MSE 특성은 거의 동일하거나 더 우수함을 알 수 있다. 또한 제안한 알고리즘은 간섭신호 제거 성능 면에서도 특성이 양호한데, 웨이브렛 필터의 선택과 관련해서는 Haar 웨이브렛 필터를 적용한 경우가 Daubechies 웨이브렛 필터를 적용한 경우보다 전체적으로 간섭신호의 적응 빔 패턴 특성이 더 양호하다는 것을 알 수 있다. 결론적으로 본 논문에서 제안한 WLMS-GSC 알고리즘은 기존의 LMS-GSC 알고리즘에 비하여 더 우수하거나 동일한 특성을 유지하면서 연산량이 약 절반으로 감소되었기 때문에 시스템 구현 시에 하드웨어 복잡도를 절반으로 줄일 수 있다는 장점이 있다.

참 고 문 헌

[1] 조명제, 한동석, 정진원, 김수중, “강한 간섭 신호를 제거하기 위한 3차원 위상배열 레이다용 새로운 부엽 제거기”, 대한전자공학회논문지 제35권, S편 제10호, pp.144-155, 1998.

[2] 조명제, 문성훈, 한동석, 정진원, 김수중, “변형된 CFAR 알고리즘을 이용한 새로운 주파수영역 GSC”, 대한전자공학회논문지 제36권, S편 제2호, pp.96-106, 1999.

[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] S. P. Applebaum, “Adaptive Arrays”, *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, Vol.AP-24, No.2, pp.585-598, Sep., 1976.

[5] 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.

[6] M. J. Cho, D. S. Han, J. W. Jung, and S. J. Kim, “A Study on New Sidelobe Canceller for 3-D Phased Array Radar in Strong Interference”, *International Technical Conference ITC-CSCC’98*, pp.1487-1492, July, 1998.

[7] 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.

[8] Y. Lee and W.-R. Wu, “A Robust Adaptive Generalized Sidelobe Canceller with Decision Feedback”, *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, Vol.53, No.11, pp.3822-3832, Nov., 2005.

[9] S. H. Moon, D. S. Han, M. J. Cho, and K. H. Park, “Frequency Domain GSC with Low Computational Complexity”, *Military Communications Conference Proceedings*, Vol.1, pp.656-660, 1999.

[10] J. C. Old, “Sidelobe Canceller for Radar Systems”, *United States Patent 4234 424*, Marconi Company Limited, Chelmsford, England, Feb., 1984.

[11] L. S. Resende and R. D. Souza, “Multi-Split Least-Mean-Square Adaptive Generalized Sidelobe Canceller for Narrowband Beamforming”, *Proc. of the 3rd International Symposium on Image and Signal Processing and Analysis*, pp.976-980, 2003.

[12] A. Spriet, M. Moonen, and J. Wouters, “Robust Analysis of Multichannel Wiener Filtering and Generalized Sidelobe Cancellation for Multimicrophohe Noise Reduction in Hearing Aid Application,” *IEEE Trans. on Speech and Audio Processing*, Vol.13, No.4, pp.487-503, July, 2005.

[13] Isamu Ueda and Seiji Nomoto, “Adaptive Nulling in Active Phased Arrays”, *International Symposium ISNCR-94*, pp.419-424, Nov., 15-17, 1994.

- [14] M. Vetterli and C. Berley, "Wavelets and Filter Banks: Theory and Design," *IEEE Trans. on Signal Processing*, Vol.40, No.9, 1992.
- [15] B. Edde, *RADAR Principles, Technology, Applications*, Prentice-Hall, Englewood, NJ, 1993.
- [16] S. Haykin, *Adaptive Filter Theory*, Prentice-Hall, Englewood, NJ, 1986.
- [17] D. C. Schleher, *MTI and Pulsed Doppler Radar*, Artech House, Boston, 1991.

황 석 윤 (Seok Yoon Hwang)

정회원



1978년 2월 경북대학교 수학과
학사
1989년 2월 계명대학교 수학과
박사
1990년 6월~현재 대구대학교
수학과 교수
<관심분야> 미분기하 및 응용
수학, 웨이브릿 이론

홍 춘 표 (Chun Pyo Hong)

정회원



1978년 2월 경북대학교 전자
공학과 학사
1986년 12월 Georgia Institute
of Technology ECE 석사
1991년 12월 Georgia Institute
of Technology ECE 박사
1993년 9월~현재 대구대학교
정보통신공학부 교수

<관심분야> DSP 하드웨어 및 소프트웨어, 컴퓨터
구조, VLSI 신호처리, Embedded System

양 진 모 (Jeen Mo Yang)

정회원



1980년 2월 경북대학교 전자공
학과 학사
1987년 5월 VPI and State
University, EE 석사
1993년 12월 Georgia Institute
of Technology ECE 박사
1994년 9월~현재 대구대학교
전자공학부 부교수

<관심분야> RFID tag 설계, RF 시스템 모델링

김 창 훈 (Chang Hoon Kim)

정회원



2001년 2월 대구대학교 컴퓨터
정보공학부 학사
2003년 2월 대구대학교 컴퓨터
정보공학과 석사
2006년 8월 대구대학교 컴퓨터
정보공학과 박사
2006년 9월 대구대학교 정보통
신공학부 BK21 연구교수

2007년 9월~현재 대구대학교 컴퓨터IT공학부 조교수
<관심분야> 암호 시스템, Embedded System,
RFID/USN 보안