

선택적 계수 갱신 알고리즘을 이용한 광대역 부밴드 적응 GSC

論 文

53D-6-9

Subband Adaptive GSC Using the Selective Coefficient Update Algorithm

金 載 潤* · 李 昌 洙** · 柳 京 烈***

(Jae-Yun Kim · Chang-Soo Lee · Kyung-Yul Yoo)

Abstract - Under the condition of a common narrowband target signal and interference signals from several directions, the linearly constrained minimum variance (LCMV) method using the generalized sidelobe canceller (GSC) for adaptive beamforming has been exploited successfully. However, in the case of wideband signals, the length of the adaptive filter must be extended. As a result, the complexity of the beamformer increases, which makes real-time implementation difficult. In this paper, we improve the convergence characteristics of the adaptive filter using the transform domain normalized least mean square (NLMS) approach based on the subband GSC structure without the increase of complexity. Besides, the M-MAX algorithm, which is one of various selective coefficient updating methods, is employed in order to remarkably reduce the computational cost without decreasing the convergence quality. With the combination of these methods, we propose a computationally efficient wideband adaptive beamformer and verify its efficiency through a series of simulations.

Key Words : GSC, beamformer, 선택적 계수 갱신, subband, LMS

1. 서 론

센서 어레이(array)에 공간적으로 입사되는 입력신호는 원하는 수신신호와 간섭(interference) 신호, 그리고 가법성의 잡음성분 등으로 구성되며, 통상 동일한 시간/주파수 대역에 존재하게 된다. 공간(spatial) 영역에서 입력신호를 처리하여 간섭신호와 수신신호를 분리하는 기법을 통칭하여 빔포밍(beamforming)이라 하며, 수신된 각각의 신호에 대한 센서 어레이의 가중치를 적절하게 조절함으로써 공간 및 주파수 선택도를 높이고, 다른 방향에서 수신되는 간섭신호는 억제시키는 기법을 기반으로 하고 있다. 입력신호의 통계적인 특성을 사전에 알고 있을 경우, MVDR(minimum variance distortionless response), 혹은 LCMV(linearly constrained minimum variance) 빔포머(beamformer) 등이 최적의 성능을 보이는 것으로 알려져 있다 [1]. 하지만 사전 정보가 없거나 부족할 경우에는 입력신호로부터 이들 정보를 추정하여 사용하여야 하고, 이러한 접근방법을 적응(adaptive) 빔포밍 기법이라 칭한다.

빔포밍 기법을 기반으로 하는 적응 빔포머는 레이더, 소나, 지질학, 무선통신의 스마트 안테나 등 여러 분야에서 응

용되고 있다. 입력신호가 협대역 신호일 경우, 이에 상응하는 협대역 빔포밍 기법은 각 센서에 수신되는 신호들 간의 시지연(time delay) 차이가 단순한 위상차로 표시된다는 특성을 기반으로 한다. 하지만 광대역 신호의 경우 신호의 주파수 편차가 커서 주파수 성분간의 시간적인 변화 특성이 매우 다르기 때문에, 각 센서의 시지연 차이로 인해 수신되는 신호가 전혀 다른 신호로 인식되어 간섭 신호의 적절한 제거가 어렵게 된다. 그러므로, 광대역 신호는 공간적인 필터링과 더불어 각 센서 입력신호에 대한 시간적인(temporal) 필터링을 추가하여야 공간적인 분해능력(resolution)을 어느 정도 보장할 수 있다.

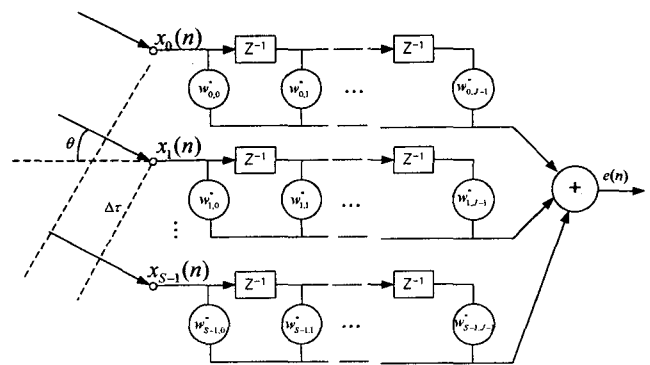


그림 1 전형적인 광대역 빔포머 구조
Fig. 1 Conventional wideband beamforming structure

* 正 會 員 : LG Innotek 研究員
 ** 正 會 員 : 漢陽大 工大 電氣工學科 博士課程
 *** 正 會 員 : 漢陽大 工大 電氣工學科 副教授 · 工博
 接受日字 : 2004年 2月 2日
 最終完了 : 2004年 4月 12日

간섭 신호를 제거하고 시간/공간적인 해상도를 동시에 증가시키려면, 그림 1과 같이 기존의 협대역 시스템에 TDL (tapped delay line) 형태의 시간적인 필터 부분을 추가하여 광대역 빔포머를 구성하여야 한다. 그림 1의 TDL 필터 계수는 적응 알고리즘을 통하여 갱신되어 최적의 상태로 수렴해야 하며, 원하는 필터 성능을 얻기 위해서는 매우 높은 차수의 필터가 요구된다. 하지만, 광대역 빔포머의 복잡도가 센서수와 TDL 필터 차수의 곱에 비례하고, 필터차수의 증가는 연산량의 증가를 초래한다는 점에서 실시간 구현이 어렵게 된다. 그러므로, 연산량과 적응 필터의 수렴능력 등, 서로 상충될 수 있는 요구조건을 동시에 만족시킬 수 있는 시스템의 설계가 요구된다. 통상적으로 수렴능력의 향상과 계산량 감소는 서로 상이한 접근 방법을 통하여 이루어져 왔다. 본 논문에서는 이러한 두 가지 상이한 접근 방법들을 조합하여, 성능과 연산량의 측면에서 최적의 시스템을 구현하고자 하였다.

먼저 연산량의 증가를 요구하지 않으면서, 수렴 속도를 향상시키기 위한 방법으로 부밴드(subband) 적응 GSC(generalized sidelobe canceller)와 같은 변환 영역의 적응 알고리즘이 가장 적절한 것으로 판단된다 [2]. 부밴드 적응 GSC는 일반적인 적응 GSC 구조에서 주 채널과 보조 채널의 입력 신호를 주파수 대역에서 분리하여 백색화 시켜주기 위하여 부밴드 필터뱅크 구조를 사용한다 [3][4]. 이때 주파수 밴드 간에 발생할 수 있는 중첩(aliasing)을 최대한 줄이기 위해 오버샘플링(over-sampling) 필터 뱅크 구조를 적용할 수도 있다 [5].

수렴속도를 향상을 위한 알고리즘의 개발과는 독립적으로, 연산량 감소를 위한 연구 역시 활발하게 진행되어 왔다. 연산량 감소를 위하여 설계된 여러 가지 기법 중에서 부밴드 적응 GSC와 적절하게 결합될 수 있는 기법을 찾은 결과, 매 갱신 주기마다 갱신해야 할 계수값들을 선택적으로 갱신하는 선택적 계수 갱신 알고리즘을 선정하였다. 특히, 여러형태의 선택적 계수갱신 알고리즘 중에서도, Mayyas가 제안한 M-MAX 알고리즘을 적용하였다 [6]. 이 알고리즘은 매 갱신 주기마다 각각의 계수들 위치에서 대응하는 기울기 추정치 크기를 기준으로 하여 선택된 계수만을 갱신함으로써 계수를 모두 갱신할 때와 비교해서 계산량은 크게 감소하는 반면 수렴 속도는 거의 비슷한 성능을 나타낸다.

본 논문에서는 부밴드 적응 GSC 구조에서 많은 연산량이 요구되는 문제점을 해결하기 위해 계산량과 성능면에서 가장 효과적인 M-MAX 알고리즘을 부밴드 적응 GSC에 적용하는 구조를 제안하였고, 광대역 환경에서의 반복적인 모의실험을 통하여 그 성능을 검증하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 광대역 적응 GSC에 대하여, 그리고 3장에서는 선택적 계수 갱신 알고리즘을 기술하였다. 4장에서는 선택적 계수 갱신 알고리즘을 이용한 부밴드 적응 GSC를 설계하였다. 5장에서는 모의 실험을 통해 기존의 부밴드 적응 GSC와 선택적 계수 갱신 알고리즘을 이용한 부밴드 적응 GSC 구조와 비교, 검증하였다.

2. 광대역 부밴드 적응 GSC

2.1 적응 GSC

수신신호에 가법성의 잡음성분과 간섭 신호가 동시에 존재할 경우 MVDR과 LCMV 빔포머 등이 최적의 성능을 보이는 것으로 알려져 있다. LCMV 빔포머는 주어진 공간과 주파수 제약조건 하에서 출력신호의 분산값(혹은 전력)을 최소화 시키도록 하는 기법이다 [7]. 그림 1과 같이 S개의 sensor와 J개의 필터계수를 갖는 빔포머에 대한 출력 $e(n)$ 은 다음과 같이 표현되며

$$e(n) = \mathbf{w}^H \mathbf{x}(n) \tag{1}$$

여기에서 필터계수와 입력 벡터는 다음과 같이 주어진다.

$$\mathbf{w} = [\mathbf{w}_0^T, \mathbf{w}_1^T, \dots, \mathbf{w}_{J-1}^T]^T \tag{2}$$

$$\mathbf{w}_j = [w_{0,j}, w_{1,j}, \dots, w_{S-1,j}]^T$$

$$\mathbf{x}(n) = [\mathbf{x}_0^T(n), \mathbf{x}_1^T(n), \dots, \mathbf{x}_{J-1}^T(n)]^T$$

$$\mathbf{x}_j(n) = [x_{0,j}(n), x_{1,j}(n), \dots, x_{S-1,j}(n)]$$

데이터 벡터 $\mathbf{x}_j(n)$ 은 snapshot 벡터, 필터계수 $w_{s,j}$ 는 s번째 센서에 연결된 TDL에서 j번째 탭 위치의 필터계수를 나타낸다. LCMV 빔포머의 설계는 다음과 같은 최적화 문제로 기술될 수 있다.

$$\min_{\mathbf{w}} \mathbf{w}^H \mathbf{R}_x \mathbf{w} \text{ subject to } \mathbf{C}^H \mathbf{w} = \mathbf{f} \tag{3}$$

여기에서 \mathbf{R}_x 는 관측된 데이터의 공분산(covariance) 행렬이고, $\mathbf{C} \in (S \times J)$ 는 constraint 행렬, $\mathbf{f} \in (J \times 1)$ 는 응답 벡터이다.

이상과 같은 LCMV 최적화 문제는 그림 2와 같은 GSC 구조를 통하여 효율적으로 구현될 수 있다. GSC는 입력 데이터를 blocking 행렬 \mathbf{B} 를 사용하여 \mathbf{w}_0 와 orthogonal한 부공간(subspace)으로 사영을 취하고 그 결과를 이용하여 상위 가지의 신호 $d(n)$ 에 존재하는 간섭 신호 성분을 추정하여, 최종적으로 $d(n)$ 에서 간섭 신호 성분을 제거시키는

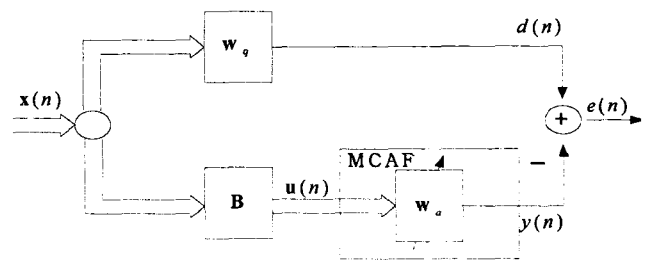


그림 2 일반적인 GSC 구조(MCAF : Multi-channel adaptive filter의 경우)

Fig. 2 General GSC structure

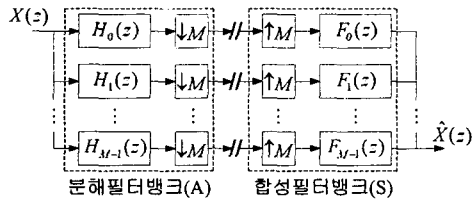


그림 3 K-채널 분해 및 합성 필터뱅크의 병렬구조
Fig. 3 K-channel analysis and synthesis filter banks

구조이다. 특히 적절한 blocking 행렬 **B**를 사용하여 식 (3)에서 주어지는 constraint 최적화 문제를 unconstrained 최적화 문제로 변환시켜 준다.

따라서 간섭 신호 성분의 추정을 위하여 일반적인 최적화 알고리즘을 사용할 수 있으며, 실질적인 구조에서는 적응 필터가 그 역할을 수행하게 된다. 그림 2에서 원하는 신호 $d(n)$ 은 다음과 같이 주어지며

$$d(n) = \mathbf{w}_q^H \mathbf{x}_n \text{ with } \mathbf{w}_q = \mathbf{C}(\mathbf{C}^H \mathbf{C})^{-1} \mathbf{f} \quad (4)$$

간섭 신호가 없는 환경에서 최적화된 빔포밍 필터 \mathbf{w}_q 의 출력이며 quiescent 응답이라 칭한다. 아울러 적응 필터의 입력벡터 $\mathbf{u}(n)$ 은 $\mathbf{u}(n) = \mathbf{B}_{comp}^H \mathbf{x}(n)$ 으로부터 얻어지고, 여기에서 $\mathbf{B}_{comp} = \text{diag}(\mathbf{B}, \dots, \mathbf{B}) \in (S \times (S-1)) \times J$ 으로 구성된다.

2.2 부밴드 적응 GSC

본 논문에서 적응 필터링에 적용하는 부밴드 변조기법은 그림 3과 같은 필터뱅크 구조를 사용하였다. 그림 3에서처럼, 입력신호를 K개의 주파수 대역으로 나눈 다음, 대역간의 중첩을 줄이기 위하여 $N, N < K$ 인수로 decimation하는 오버샘플링 구조이다.

그림 2에 나타난 일반적인 GSC 구조에 그림 3의 분해필터뱅크와 합성필터뱅크를 적용하면 그림 4, 5와 같은 부대역 적응 GSC 구조를 구현할 수 있다. 그림 4에서 볼 수 있는 것처럼 주파수 분해과정에서 부밴드 적응 필터링 기법을 blocking 행렬 **B**의 출력에 각각 적용하여 그들을 사전 백색화(whitening)하고 병렬처리 함으로써, 수렴성능을 향상시키는 동시에 계산량을 줄일 수 있다. 다시 말해서, 더 낮은 갱신율과 주어진 필터계수의 길이보다 더 적은 계수를 갖는 부밴드 적응 빔포밍 구조는 전밴드 적응 알고리즘이 필요로 하는 계산량 $O(L_a)$ 의 K/N^2 만큼만 필요로 하게 된다. 여기에서 L_a 는 전밴드 구조에서 적응 필터링에 사용되는 계수값들의 전체 수를 나타낸다.

그림 5와 같이 k번째 채널의 MCAF 구조에서 NLMS(normalized least mean square) 알고리즘을 사용하는 계수 갱신 표현식은 다음과 같다.

$$\mathbf{w}_k(n+1) = \mathbf{w}_k(n) + 2 \frac{\mu}{|\mathbf{u}_k(n)|^2} \mathbf{u}_k(n) e_k^*(n) \quad (5)$$

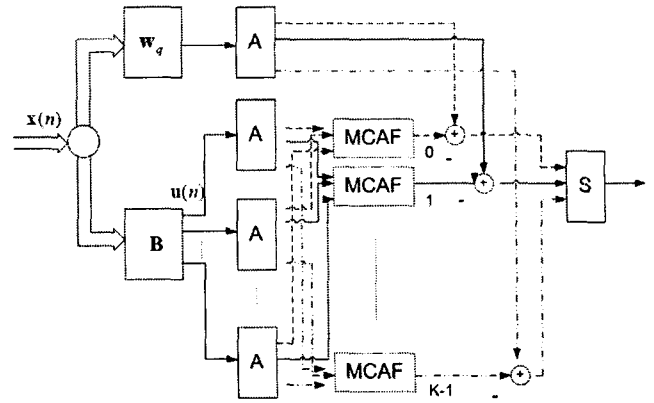


그림 4 부대역 적응 GSC의 구조(A:분해필터뱅크, S:합성필터뱅크)
Fig. 4 Subband adaptive GSC structure(A:analysis filter bank, S:synthesis filter bank)

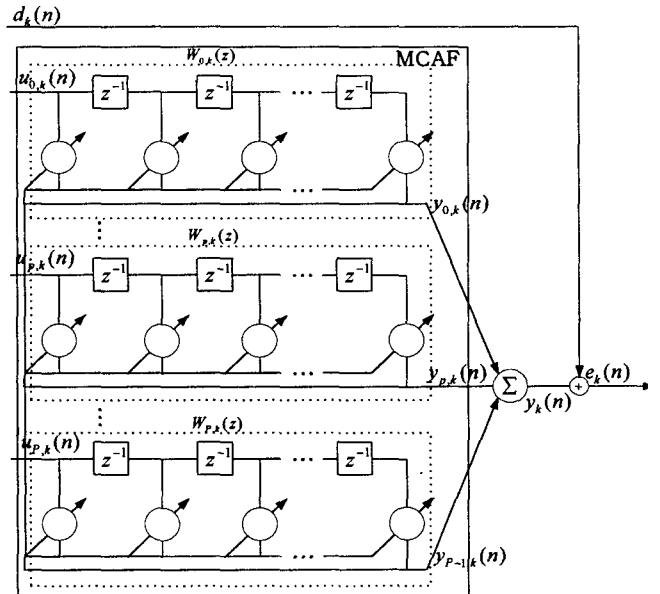


그림 5 k번째 채널의 MCAF(multi-channel adaptive filter) 구조
Fig. 5 MCAF structure at the kth channel

여기에서 $k=0, 1, \dots, K-1$ 이며,

$$e_k(n) = d_k(n) - \mathbf{w}_k^H(n) \mathbf{u}_k(n) \quad (6)$$

$$\mathbf{u}_k(n) = [\mathbf{u}_{k,0}^T(n), \mathbf{u}_{k,1}^T(n), \dots, \mathbf{u}_{k,L_s-1}^T(n)]$$

$$\mathbf{u}_{k,i}(n) = [u_{0,k}(n-i), u_{1,k}(n-i), \dots, u_{P-1,k}(n-i)]^T$$

$P, P \leq S-1$, 는 차단 행렬을 통과한 신호의 차원이며, $L_s = J/K$ 는 k번째 채널에 연결되는 TDL 필터의 길이를 지정한다. 위 식에서 보는바와 같이 더 낮은 갱신율을 갖는 부밴드 적응 빔포밍의 구조는 병렬구조를 갖는 연산으로 계산량을 줄일 수 있으며 동시에 사전 백색화 효과로 수렴성능을 기대할 수 있다.

3. 선택적 계수 갱신 알고리즘

각 샘플 시간에서 적응 필터의 계수들 중 그 일부분만을 갱신하는 알고리즘은 일반적인 LMS 적응 시스템의 전체 복잡도에 비해 복잡도가 더 작아진다. 이러한 알고리즘은 필터 계수를 많이 필요로 하는 음향 반향음 제거나 높은 데이터 비율의 통신 시스템에서의 적응 등화기 같은 연산자나 메모리 자원이 크게 요구되는 실시간 응용에 많이 이용되고 있다 [8][9]. 일반적인 LMS 알고리즘의 갱신 식은 다음과 같다.

$$\mathbf{w}(n+1) = \mathbf{w}(n) + \mu \mathbf{x}(n)e^*(n) \quad (7)$$

여기에서

$$\mathbf{x}(n) = [x(n), x(n-1), \dots, x(n-N+1)]^T \quad (8)$$

$$\mathbf{w}(n) = [w_0(n), w_1(n), \dots, w_{N-1}(n)]^T$$

이고, $e(n)$ 은 시간 n 에서의 추정 오차를 나타낸다. 이에 반해 부분 갱신 알고리즘은 미리 정해진 수만큼의 필터 계수들만을 갱신하는데 이러한 알고리즘은 다음과 같다.

첫 번째로 순차적(sequential) LMS 알고리즘이다. 전체 필터의 길이가 N 이고 매 반복마다 M 개의 계수만을 갱신한다고 할 때 N/M 이 정수가 되도록 M 을 정하고 $L(=N/M)$ 을 부분 갱신 주기 또는 부분 갱신 인자라고 할 때 표현식은 다음과 같다.

$$w_i(n) = \begin{cases} w_i(n) + \mu e(n)x(n-i+1), & \text{if } (n-i+1) \bmod L = 0 \\ w_i(n), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

위 식에서 $L=1$ 인 경우 일반적인 LMS 알고리즘과 같고, $L>1$ 일 때 필터 계수 전체를 갱신하는 LMS 알고리즘에 비해 그만큼 수렴이 늦어질 수도 있다 [8].

부분 계수 갱신 기법을 사용하여 수렴 속도나 최종추정오차 등의 성능이 감소된다면, 짧은 필터길이를 사용하는 것과 동일한 결과를 초래하게 된다. 따라서, 뚜렷한 성능의 저하를 방지하는 선택적 계수 갱신 기법이 요구된다. M -MAX 선택적 계수 갱신 알고리즘은 각 계수마다 오차 성능에 미치는 영향이 다름을 이용하여 오차를 가장 많이 줄일 수 있는 계수들만을 골라서 갱신함으로써 수렴 성능저하를 최소화 하는 방법으로 제시되었다 [6]. 이를 NLMS 알고리즘의 계수 갱신 표현식으로 나타내면 다음과 같다.

$$w_i(n+1) = \begin{cases} w_i(n) + \frac{\tilde{\mu}}{\|\mathbf{x}(n)\|^2} e^*(n)x(n-i+1), & \text{if } i \text{ corresponds to one of the first } M \\ & \text{Maxima of } |x(n-i+1)| \\ w_i(n), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

각 계수마다 오차 성능에 영향을 미치는 요인이 되는 MSE 표면 상에서 큰 기울기 벡터 성분을 가진 계수들만을 갱신함으로써 성능 향상을 꾀한다. 이때 매 갱신 주기마다

각각의 계수들 위치에서 대응하는 기울기 추정치의 크기를 바탕으로 갱신할 계수들을 선택한다. 즉, i 번째 계수의 기울기 추정치는 $-2e(n)x(n-i+1)$, $1 \leq i \leq N$ 이므로 갱신할 때 $|x(n-i+1)|$ 의 크기 중 $M(\leq N)$ 개의 큰 값을 선택해서 거기에 대응하는 계수들만 선택적으로 갱신하는 것이다. 따라서 NLMS와 비교하여 $N-M$ 개의 곱셈과 덧셈의 연산량 감소가 일어난다 [10]. 입력 벡터를 오름차순으로 정렬하기 위한 비교연산이 매 주기마다 $2\log(N)+2$ 만큼 필요하게 되지만, N 이 매우 클 경우 추가되는 $N-M$ 만큼의 곱셈과 덧셈에 비하여 매우 적은 연산량이다. M -MAX 선택적 계수 갱신 알고리즘이 수렴하기 위해서는 step size $\tilde{\mu}$ 가 $0 < \tilde{\mu} < 1$ 이 되어야 한다 [11].

4. M-Max 알고리즘을 이용한 부밴드 적응 GSC

광대역 신호를 위한 부밴드 적응 GSC 구조에서 높은 공간적 해상도를 필요로 하는 경우에 센서 어레이의 수와 부밴드 채널의 수가 동시에 증가되어야 하므로 계산량이 큰 폭으로 늘어나게 된다. 하지만 실시간 구현을 위하여, 허용 가능한 연산량의 증가에는 한계가 있다. 그러므로 수렴 성능저하를 최소화 하는 동시에 연산량을 줄여주는 선택적 계수 갱신 알고리즘이 가장 합리적인 구현 방안이 된다.

본 논문에서는 센서 어레이에서 MCAF의 각 채널에 선택적 계수 갱신 알고리즘을 적용하였다. 이를 부밴드 적응 GSC 구조의 계수 갱신 표현식에 선택적 계수 갱신 알고리즘 표현식을 적용하면 다음과 같다.

$$w_{p,k,l}(n+1) = \begin{cases} w_{p,k,l}(n) + \frac{\tilde{\mu}}{\|\mathbf{u}_k(n)\|^2} e_k^*(n)u_{p,k}(n-1), & \text{if } p, l \text{ corresponds to one of the first } M \\ & \text{Maxima of } |u_{p,k}(n-1)| \\ w_{p,k,l}(n), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

여기서, $k(0 \leq k < K)$ 는 채널 인덱스, $(0 \leq l < L_s - 1)$ 는 필터 인덱스, $p(0 \leq p < S)$ 는 센서 인덱스를 지칭하며, $w_{p,k,l}(n)$ 은 갱신주기 n 에서 k 번째 채널의 MCAF 계수들 나타낸다.

식 (11)에서 갱신되는 계수 값들의 수를 비교해 보면 부밴드 구조에서 총 갱신되는 계수 값들의 수는 $P \times L_s \times K$ 개이고 선택적 계수 갱신 알고리즘을 적용한 구조에서의 갱신되는 총 계수 값들의 수는 $M \times K$, ($M \leq P \times L_s$)개이므로 계수 값들의 개수가 현저히 줄어들음을 알 수 있다.

5. 모의실험 및 결과

제안된 선택적 계수 갱신 알고리즘을 적용한 부밴드 적응 GSC 광대역 빔포밍의 성능 검증을 위해 일련의 모의실험을 수행하였으며, 여기에서 사용된 변수값들은 다음과 같다. 어레이 센서 수 $S=16$ 개 이고 각각의 센서에 $J=40$ 개의 TDL 필터계수를 갖는 구조를 사용한다. 이 GSC 구조는 0° 에서 수신되는 광대역 신호에 대한 응답 특성을 최대화

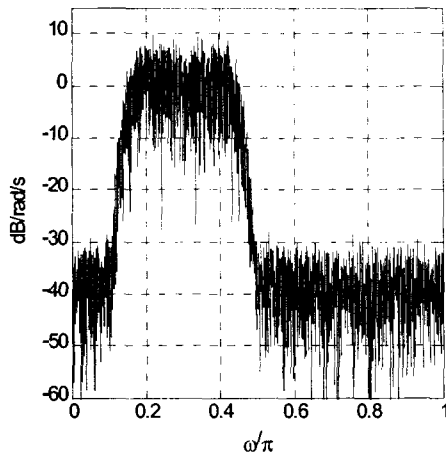


그림 6 입력 신호의 파워 스펙트럼
Fig. 6 Power spectrum of the input signal

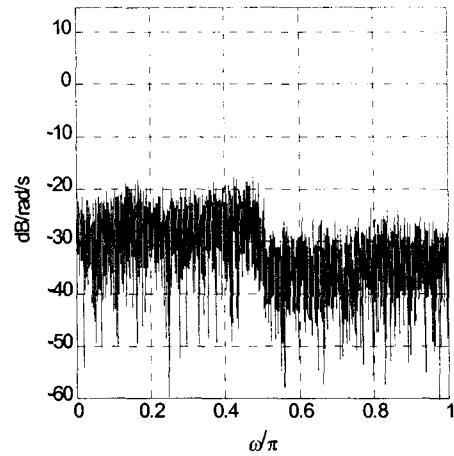


그림 9 선택적 계수 갱신 알고리즘을 이용한 부밴드 적응 GSC 구조의 파워 스펙트럼
Fig. 9 Output power spectrum of the subband adaptive GSC using the selective coefficient update algorithm

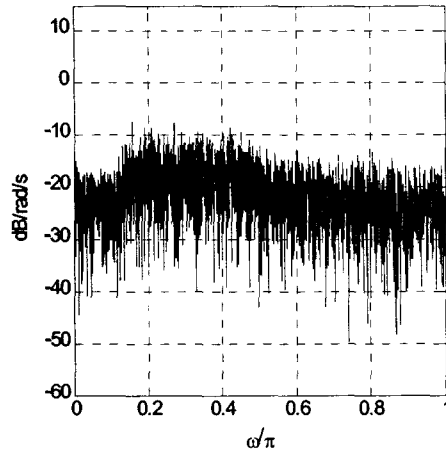


그림 7 기존의 적응 GSC의 출력 파워 스펙트럼
Fig. 7 Output power spectrum of the conventional adaptive GSC

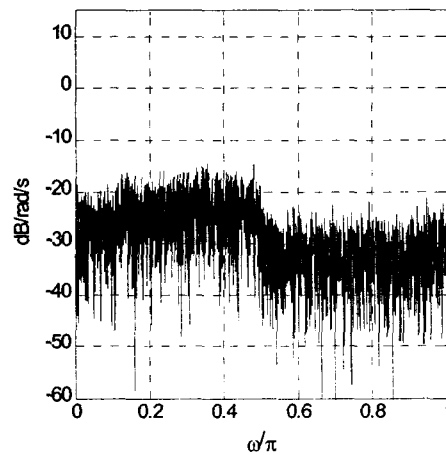


그림 8 부밴드 적응 GSC의 출력 파워 스펙트럼
Fig. 8 Output power spectrum of the subband adaptive GSC

하는 동시에, 20° 에서 수신되는 주파수 대역이 $\omega \in [0.15\pi; 0.45\pi]$ 인 광대역 간섭 신호를 억제시키도록 설계하였다 [3].

이때 SIR(signal-to-interference ratio)은 -35dB 이고 모든 센서에 수신되는 신호는 SNR이 10dB 인 백색 가우시안 노이즈에 의해 오염된 것으로 설정하였다. 원하는 신호와 간섭 신호가 합쳐진 입력 신호의 스펙트럼은 그림 6과 같다. 필터 뱅크는 decimation 비율 $N=6$ 인 오버샘플링 GDFT 필터뱅크에 의해 $K=8$ 개의 부밴드로 구성하였다.

이 모의 실험에서 기존의 GSC 구조와 부밴드 구조, 그리고 선택적 계수 갱신 알고리즘을 적용한 부밴드 구조의 성능을 비교하기 위하여 세 경우 모두 동일한 스텝사이즈를 갖는 NLMS 알고리즘을 사용하였다. 또한 제안한 알고리즘에서 M 값은 입력 벡터의 평균값 이상이 되는 입력 값들의 수를 기준으로 하였다.

그림 7, 8, 그리고 9는 정상 상태에서의 출력된 신호의 파워 스펙트럼을 각각 나타낸 것이다. 그림 6과 비교해 봤을 때, 그림 7에서 보는 바와 같이 기존의 적응 GSC 구조는 간섭 신호를 효과적으로 제거시키지 못함을 알 수 있다. 반면에 그림 8의 부밴드 구조의 경우에는 간섭 신호를 효과적으로 제거시키고, 원하는 신호의 레벨도 큰 폭으로 낮추어 줄 수 있다. 또한 그림 9에서 보는 바와 같이 선택적 계수 갱신 알고리즘을 적용한 부밴드 구조도 계산량은 줄이면서 간섭 신호를 제거함에 있어서는 부밴드 구조와 거의 동일한 성능을 보임을 알 수 있다.

그림 10은 정상 상태에서의 3차원 빔패턴을 나타낸 것이다. 그림 10에서 보는 바와 같이 공간적, 시간적으로 간섭 신호가 제거됨을 알 수 있다. 그림 11은 기존의 GSC, 부밴드 구조, 그리고 선택적 계수 갱신 알고리즘을 이용한 부밴드 구조간의 학습곡선 비교를 보인다. 그림 11에서 보는 바와 같이 수렴 속도 면에서도 기존의 GSC 구조에 비해 부밴드 구조가 수렴 속도가 빠르고 제안된 알고리즘을 적용한 부밴드 구조는 계산량을 매우 감소시킨데 반해 수렴 성능은 거의 동일함을 알 수 있다. 갱신되는 계수의 수를 보면 부

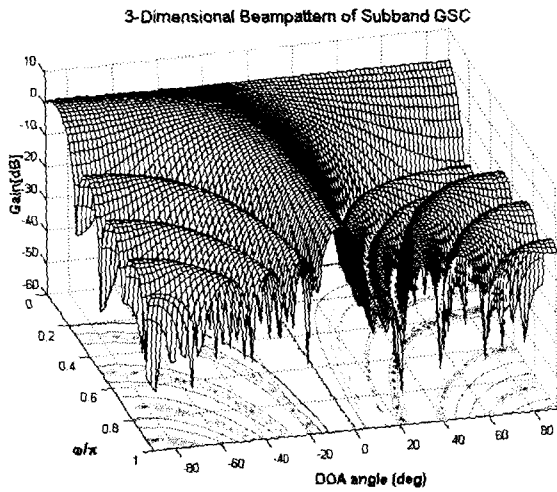


그림 10 부밴드 적응 GSC 구조의 정상 상태에서의 3차원 빔패턴

Fig. 10 3-D beam pattern of the subband adaptive GSC

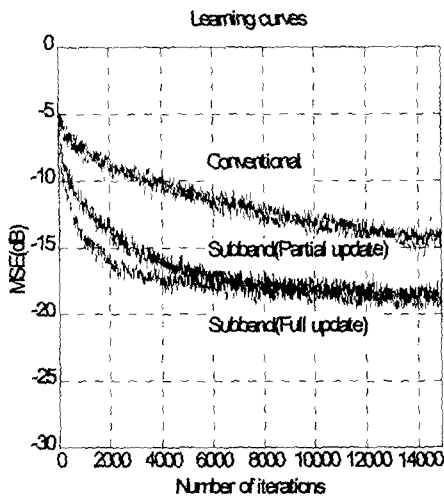


그림 11 학습곡선 비교

Fig. 11 Learning curves

밴드 구조에서는 매 갱신 주기마다 k 번째 채널에서 갱신되는 계수의 수가 $P \times L_s = (S-1) \times L_s = 75$ 개인데 반해서 선택적 계수 갱신 알고리즘을 적용한 부밴드 구조에서는 $M=15$ 개만을 갱신하면서도 성능 저하가 거의 없음을 알 수 있다. 따라서 총 갱신되는 계수의 수는 부밴드 구조는 600개이고 제안된 알고리즘에서는 전체의 20%만을 사용한다.

5. 결 론

적용 광대역 빔포머에서 충분히 제거 간섭신호를 제거 하고 높은 해상도를 갖게 하기 위해서는 많은 수의 센서와 필터 계수가 요구된다. 이로 인해 빔포머를 수행하는데 있어서 많은 계산량이 발생하게 되어 실시간 구현을 어렵게 만든다. 본 논문에서는 기존의 부밴드 적응 빔포밍의 계산량을

줄이면서 수렴 성능은 비슷한 선택적 계수 갱신 알고리즘을 이용한 부밴드 광대역 적응 빔포밍 구조를 제안하였다. 매 갱신 주기마다, 각 계수들간의 오차 성능에 미치는 영향이 다름을 이용하여 오차를 가장 많이 줄일 수 있는 계수들만을 골라서 갱신하는 선택적 계수 갱신 알고리즘을 부밴드 적응 GSC 구조에 적용시킴으로서 수렴 성능은 거의 저하없이 계산량은 크게 감소됨을 확인하였다.

향후 계산량을 줄이기 위해 매 갱신 주기마다 가변적으로 갱신하는 계수들의 수를 정하는 새로운 알고리즘에 대한 연구가 계속되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 2004년도 전자재료 및 부품연구센터(한양대 지역 협력 연구센터)의 지원에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] B. D. Van Veen and K. M. Buckley, "Beamforming: A versatile approach to spatial filtering," *IEEE ASSP Mag.*, vol. 5, pp. 4-24, Apr. 1988.
- [2] 이용재, 유경렬, "웨이블릿 변환영역 적응필터의 성능에 관한 연구", *대한전기학회논문지*, 제47권, 12호, pp.2258-2264, Dec. 1998.
- [3] W. Liu, S. Weiss, and L. Hanzo, "Subband adaptive generalized sidelobe canceller for broadband beamforming," in *Proc. IEEE Workshop on Statistical Signal Processing*, Singapore, pp. 591-594, Aug. 1987.
- [4] L. J. Griffith and C. W. Jim, "An alternative approach to linearly constrained adaptive beamforming," *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 30, no. 1, pp. 27-34, Jan. 1982.
- [5] M. Harteneck, S. Weiss, and R. W. Stewart, "Design of near perfect reconstruction oversampled filter banks for subband adaptive filters," *IEEE Trans. Circuits and Systems II*, vol. 46, no. 8, pp. 1081-1086, Aug. 1999.
- [6] T. Aboulnasr, and K. Mayyas, "Selective coefficient update of gradient based adaptive algorithm," in *Proc. the 1998 IEEE Int. Conf. Acoust., Speech, and Signal Processing, ICASSP-97*, pp. 1929-1932, 1997.
- [7] O. L. Frost III, "An algorithm for linearly constrained adaptive array processing," in *Proc. IEEE*, vol. 60, no. 8, pp. 926-935, Aug. 1972.
- [8] S. C. Douglas, "Simplified stochastic gradient adaptive filters using partial updating," in *Proc. Sixth IEEE Digital Signal Processing Workshop, Yosemite, CA*, pp. 265-268, Oct. 1994.
- [9] S. C. Douglas, "Adaptive filters employing partial

updates," IEEE Trans. Circuits and Systems, vol. 44(3), pp. 290-216, Mar. 1997.

- [10] T. Aboulnasr and K. Mayyas, "MSE analysis of the M-max NLMS adaptive algorithm," in Proc. the 1998 IEEE Int. Conf. Acous., Speech, and Signal Processing, ICASSP-99, vol. 3, pp. 1669-1672, May 1998.
- [11] K. Mayyas, T. Aboulnasr, and T. Eldos, "A study of the robustness of the M-max NLMS adaptive algorithm," in Proc. the 1999 IEEE Int. Symp. Circuits and Systems, ISCAS-99, Jun. 1999.

저 자 소 개



김재윤 (金載潤)

1975년 5월 18일생. 2002년 한양대 공대 전자공학과 졸업. 2004년 동 대학원 전자전기 제어계측공학과 졸업(석사). 2004년~현재 LG 이노텍 연구원
E-mail : jykimm@lginnotek.com



유경렬 (柳京烈)

1961년 7월 9일생. 1982년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1993년 Univ. of Missouri-Rolla 졸업(공학). 1993년 한국전자통신연구원 선임 연구원. 현재 한양대 전자컴퓨터공학부 부교수.
E-mail : drwhoyoo@ihanyang.ac.kr



이창수 (李昌洙)

1972년 3월 27일생. 1997년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정
E-mail : changsoo@sas.hanyang.ac.kr