

적응 보상기를 채용한 새로운 부엽 제거기

A New Sidelobe Canceller with Adaptive Compensator

박근수, 박장식*, 손경식
부산대학교 전자공학과, *동의공업대학 영상정보과

Keun Sōo Park, Jang Sik Park* and Kyung Sik Son

Dept. of Electronics Eng. Pusan National University

*Dept. of Visual Technologies, Dongeui Institute of Tech.

zeaney@daum.net, *jspark@dit.ac.kr, ksson@hyowon.ee.ac.kr

Abstract

This brief proposes to reduce the misadjustment of the adaptive filter coefficients that trace the interference signal in the sidelobe. The proposed sidelobe canceller that has the form of Griffiths-Jim sidelobe canceller with an adaptive compensator that reduces the misadjustment. The proposed sidelobe canceller updates the filter coefficients by the error signal of the adaptive compensator instead of the output signal. This brief shows the improvement of the performance by comparing the computer simulation of the output signal of the Griffiths-Jim sidelobe canceller to the output signal of the proposed sidelobe canceller.

1. 서 론

배열 신호 처리(array signal processing)는 공간 샘플링을 이용하여 원하는 신호에 대한 지향성을 높이고, 원하는 방향으로의 응답을 조정한다. 여러 개의 센서를 사용함으로써 한 방향에 대한 신호의 이득 효율을 얻을 수 있다. 각 센서마다 가중치(weight)를 두어 신호원에서부터 센서까지의 경로에서 발생하는 잡음, 간섭 경로에 의한 잔향 신호 등을 억제하는 신호 처리 방법을 사용하여 SNR(signal to noise ratio)을 높인다.

배열 신호 처리의 성능은 센서가 증가하면 성능이 향상되지만 많은 센서를 갖는 시스템을 구현하기 어렵다. 한정된 센서 수에 대해서 센서 수 이상의 간섭 신호에 대한 처리를 위해서 가중치를 적응적으로 조정하는 적응 배열 신호 처리가 활용되고 있다. 적응 신호 처리 기법을 활용함으로써 시간에 따라 변하는 잡음에 대한 처리도 가능하다. 적응 배열 신호 처리는 수중 음향 탐

지 및 측정, 음향 신호 처리 등에 널리 활용되어 왔다. 특히 방향에 대한 신호 이득과 잡음 제거를 위한 방법들이 Applebaum, Widrow, Frost, Griffiths 등에 의해서 연구 되었다.

부엽 제거기(sidelobe canceller)는 방향에 대한 지향성을 이용하여 부엽으로 입력되는 간섭 신호에 대해 이득을 감쇄 시킨다. 이 방법은 부엽으로 입력되는 간섭 신호를 제거함으로써, 방향에 대한 분해도(resolution)를 높여 선택된 목표 신호에 대한 수신 감도를 향상시킬 수 있는 구조이다. Griffiths 등이 제안한 Griffiths-Jim 부엽 제거기가 널리 사용되고 있다. 이 알고리즘은 Frost 등이 제안한 엄격한 제약 조건이 필요한 부엽 제거기 알고리즘을 블록 행렬(block matrix)을 이용하여 적응 처리 단으로 입력되는 주엽의 신호를 차단해서 가중치의 갱신함에 있어 편이성을 제공하고 있다. 즉 주엽의 신호를 처리하는 부분과 신호와 간섭신호 및 잡음이 모두 처리하는 부분으로 나누어 처리하는 구조를 가지고 있다[1,4,5,6].

주엽으로 입력되는 목표 신호를 추정하는 적응 필터의 계수들이 최적값으로 수렴하기 위해서는 추정 오차 신호가 최소값으로 수렴하여야 한다. 그러나 추정 오차 신호로 사용되는 출력값은 목표 신호를 추정하여 진동적으로 수렴하게 된다. 적응필터의 최적값으로의 수렴과 추정 오차 신호의 목표 신호로의 수렴은 상충하는 관계가 있다. 이 문제를 해결하기 위해서 출력단에 적응 보상기를 삽입하여 추정 오차신호를 최소값으로 수렴하게 하는 새로운 부엽 제거기의 구조를 제안한다. 기존의 NLMS 알고리즘에 의한 Griffiths-Jim 부엽 제거기의 출력값과 제안한 알고리즘의 출력값을 비교하여 부엽으로 입력되는 잡음 및 간섭 신호의 제거함에 있어 성능의 향상됨을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 보여 준다.

2. Griffiths-Jim 부엽 제거기

Griffiths 와 Jim 이 제안한 부엽 제거기는 적응 빔 형성기(adaptive beamformer)의 한 종류이다[1].

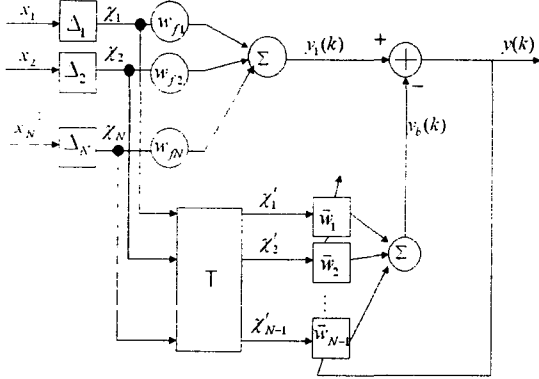


그림 1. Griffiths-Jim 적응 빔 형성기의 구조

N 개의 수신 센서를 가진 Griffiths-Jim 부엽 제거기를 나타낸 구조는 그림 1.과 같다. 각 센서로의 입력 벡터는 다음과 같다.

$$\bar{\mathbf{x}} = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_N]^T \quad (1)$$

각 센서마다 연결된 지연값 $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_N$ 는 주엽의 빔을 지향하는 방향으로 조정하는 역할을 한다. 조정된 입력 벡터는,

$$\bar{\chi} = [\chi_1 \ \chi_2 \ \dots \ \chi_{N-1}]^T \quad (2)$$

로 나타낸다. 상단의 $w_{f1}, w_{f2}, \dots, w_{fN}$ 은 고정된 가중치 벡터들로 간섭신호의 입력 방향, 주파수, 진행 속도 등의 정보를 수신단에서 알고 있을 때 고정 필터로서의 역할을 하여 간섭 신호의 방향에 대한 이득을 제거하는 역할을 한다. 그러나 센서의 개수 이상의 간섭신호에 대해서 고정 필터로 제거 할 수 없고, 실제 상황에서는 입력되는 신호는 시간과 방향이 변하므로 적응 필터가 사용된다.

T 는 블록 행렬(block matrix)을 나타낸다. 이 행렬을 통과하면 $\bar{w}_1, \bar{w}_2, \dots, \bar{w}_N$ 를 각 채널의 가중치 벡터로 가지는 적응 필터로 입력되는 신호에 포함된 주엽으로 들어오는 목표 신호 성분이 제거된다. 여기서 i 번째 필터의 L 개의 계수를 가진 FIR 필터를

$$\bar{w}_i = [w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{iL}]^T \quad (3)$$

로 나타낸다. 주엽으로 입력되는 신호는 블록 행렬에 의해서 제거되고 적응 필터는 부엽으로 들어오는 신호만을 입력으로 사용한다. 이 구조는 기존의 Frost 등이

제안한 엄격한 제한 조건의 부엽 제거기 알고리즘을 구조적으로 개선한 알고리즘이다[1,4].

이 구조에서 출력 신호 $y(k)$ 는 추정 오차 신호로 사용되고, 필터 계수는 L 개인 NLMS 알고리즘을 사용한다.

$$\bar{W}(k+1) = \bar{W}(k) + \mu(k)y(k)\bar{X}(k) \quad (4)$$

$$\bar{W}(k) = [\bar{w}_1^T, \bar{w}_2^T, \dots, \bar{w}_L^T] \quad (5)$$

$$\mu(k) = \frac{\alpha}{\|\bar{X}(k)\|^2}, \alpha = 0.2 \quad (6)$$

$$\bar{X}(k) = [\chi'_1(k) \ \chi'_2(k) \ \dots \ \chi'_{N-1}(k) \ \chi'_1(k-1) \ \chi'_2(k-1) \ \dots \ \chi'_{N-1}(k-L+1)]^T \quad (7)$$

시간이 경과함에 따라 $\bar{W}(k)$ 는 최적치로 수렴하여야 하고 동시에 추정 오차 신호는 목표 신호에 수렴해야 한다. 즉 $y(k)$ 가 목표 신호 $m(k)$ 로 수렴하면, $\bar{W}(k)$ 는 최적치로 수렴하여야 한다. 그러나 $\bar{W}(k)$ 는 $\mu(k)y(k)\bar{X}(k)$ 만큼 계속 변동하는 진동적 수렴을 하여 $\bar{W}(k)$ 가 최적치로 수렴하지 못하고 계수 오조정을 일으킨다.

3. 적응 보상기를 채용한 부엽 제거기

적응 알고리즘을 간단히 수식화 하기 위해 부엽 제거기를 간략화 하여, 그림 3 과 같은 구조를 살펴본다.

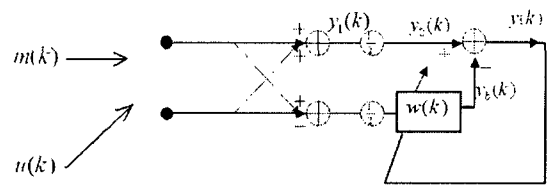


그림 2. 2-채널 부엽 제거기

그림 3 에서 목표신호를 $m(k)$, 간섭신호를 $u(k)$ 로 나타낼 때, 블록 행렬에 의해서 목표 신호 $m(k)$ 는 제거되고, 방향 조정 벡터와 센서간의 시간차에 의해 변형된 간섭 신호 $\{u(k) - u(k-d)\} / 2$ 만이 적응 필터 $\bar{W}(k)$ 로 입력된다[2].

$$y_2(k) = m(k) + \{u(k) + u(k-d)\} / 2 \quad (8)$$

$$\mathbf{U}'(k) = [u'(k) \ u'(k-1) \ \dots \ u'(k-L+1)]^T \quad (9)$$

$$y_b(k) = \bar{W}^T(k) \bar{U}'(k) \quad (10)$$

$$y(k) = y_2(k) - y_b(k) \quad (11)$$

계산의 간략화를 위해 $u''(k) = \{u(k) - u(k-d)\}/2$ 로 두었다. 시간의 지연인 d 는 센서간의 거리에 의한 시간차를 나타낸 것이다.

$$\begin{aligned} \bar{W}(k+1) &= \bar{W}(k) + \mu(k)y(k)\bar{U}'(k) \\ &= \bar{W}(k) + \mu(k)[y_1(k) - y_b(k)]\bar{U}'(k) \\ &= \bar{W}(k) + \mu(k)m(k)\bar{U}'(k) \\ &\quad + \mu(k)u''(k)\bar{U}'(k) \\ &\quad - \mu(k)\bar{W}^T(k)\bar{U}'(k)\bar{U}'(k). \end{aligned} \quad (12)$$

여기서 $u''(k) = \{u(k) + u(k-d)\}/2$ 를 나타낸다.

식 (12)에서 가중치 벡터 $\bar{W}(k)$ 가 수렴해 갈 때 목표 신호를 포함한 $\mu(k)m(k)\bar{U}'(k)$ 벡터의 영향에 의해서 가중치 벡터는 고정된 최적의 값으로 수렴하지 못하고 계수가 오조정된다. 이러한 문제를 보완하기 위해서 적응 보상기를 삽입한 새로운 부엽 제거기의 구조를 제안한다. 기존의 구조에서 목표 신호를 추정하는 출력 $y(k)$ 이 추정 오차 신호로 사용되는 문제점을 해결하기 위해 적응 보상기 $\bar{W}_c(k)$ 를 통과시켜 가중치 벡터는 최적치의 벡터값으로 수렴하고, 새로운 추정 오차 신호 $v(k)$ 는 최소값으로 수렴하도록 하였다. 즉 진동적으로 수렴하는 추정 오차 신호를 적응 보상기를 통과시켜 최소값으로 수렴하는 출력값을 새로운 추정 오차 신호로 사용한다.

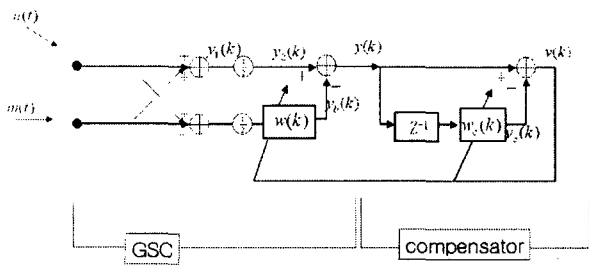


그림 3. 적응 보상기를 채용한 부엽 제거기

그림 3의 새로운 구조를 이용한 수식은

$$\begin{aligned} \bar{W}(k+1) &= \bar{W}(k) + \mu(k)v(k)\bar{U}'(k) \\ &= \bar{W}(k) + \mu(k)\{m(k) + u'(k) \\ &\quad - \bar{W}_c^T(k)\bar{M}(k-1) - \bar{W}_c^T(k)\bar{U}'(k-1)\}\bar{U}'(k) \\ &= \bar{W}(k) + \mu(k)\{m(k) - \bar{W}_c^T(k)\bar{M}(k-1)\}\bar{U}'(k) \\ &\quad + \mu(k)\{u'(k) - \bar{W}_c^T(k)\bar{U}'(k-1)\}\bar{U}'(k) \end{aligned} \quad (13)$$

식(13)의 알고리즘으로 적용해 간다. 식(12)에 나타난 진동하는 벡터의 영향에 의해 계수가 오조정되는 문제를 식(13)의 $m(k) - \bar{W}_c^T(k)\bar{M}(k-1)$ 부분에서 목표 신호에 의한 영향을 감소시킴으로써 해결한다.

4. 실험 및 결과

시뮬레이션은 그림 3의 구조와 같이 센서 개수는 2개, 적응 보상기의 적응 필터의 차수는 12 차, 부엽 제거기의 적응 필터의 차수는 32 차로 하였다. 목표 신호는 주파수가 3KHz 인 정현 신호를 사용하였고, 신호의 진행 속도는 660m/s로 가정하였다. 신호의 센서로의 입사각은 0°로 가정하였다. 간섭 신호는 25°에서 입사하는 평균값 0, 분산 2인 백색 가우시안 잡음을 사용하였다. 그림 4은 잡음이 섞인 목표 신호와 순수한 목표 신호를 각각 나타낸 것이다. 센서간 간격은 그레이팅 로브(grating lobe)의 효과를 피하기 위해서 반파장의 길이가 되는 0.22m를 사용하였다.

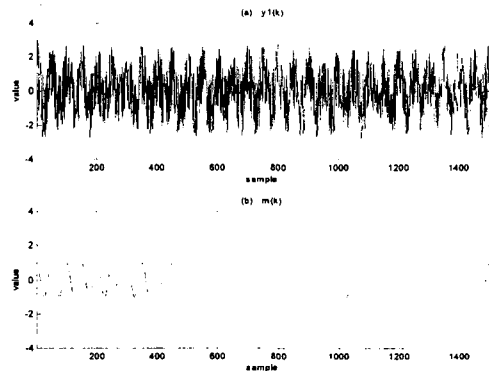


그림 4. 입력으로 사용되는 신호

- (a) 간섭 신호가 포함된 목표 신호
- (b) 목표 신호

그림 5 은 기존의 부엽 제거기를 사용한 출력 파형(a) 과 제안한 부엽 제거기의 출력 파형(b)을 비교한 것으로 목표 신호를 추정하는데 제안한 구조의 성능이 향상되었음을 알 수 있다. 기존의 구조에서는 출력값이 추정 오차 신호로 사용되었지만, 제안하는 구조에서는 그림 6 이 나타내는 최소값으로 수렴하는 신호가 추정 오차 신호로 사용된다. 그림 7 는 목표 신호와 추정 신호간의 오차 값을 나타낸 것으로 적응 보상기를 채용한 것의 오차값(b)이 기존의 부엽 제거기의 오차값(a)보다 작은것을 알 수 있다. 그림 7(a)의 오차신호 내에 여전히 목표 신호의 성분이 남아 진동하는 것을 볼 수 있다. 그림 7(b)에서 약 4000 샘플 이상이 되면 추정 오차 신호가 최소값으로 수렴하므로 그림 5(b)가 그림 5(a)보다 우수한 성능을 나타내며 목표 신호를 추정한다.

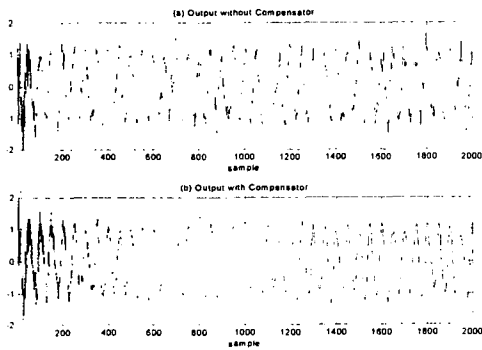


그림 5. 출력값들의 비교

- (a) Griffiths-Jim 부엽 제거기 출력과
- (b) 적응 보상기를 채용한 부엽 제거기의 출력

5. 결 론

본 논문에서는 간섭 신호에 대한 부엽 제거기의 적응 알고리즘의 성능을 향상시키기 위해서 적응 보상기를 도입한 새로운 구조를 제안하였다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 기존의 NLMS 를 사용한 부엽 제거기의 성능과 제안한 방법에 의한 성능의 비교를 통해 제안한 구조에 의한 방법이 기존 방식의 시스템보다 우수함을 확인할 수 있었다. 개선된 부엽 제거기의 구조는 기존의 배열 신호 처리의 응용 분야인 잠수함의 소나 시스템, 배열 안테나 시스템등에 대한 지향성 향상을 통한 SNR 개선과 수신 감도를 증가 시킬 수 있을 것이다. 앞으로 광대역 목표 신호와 유색 간섭 신호에 대한 성능 평가 및 향상에 대해 계속 연구할 계획이다.

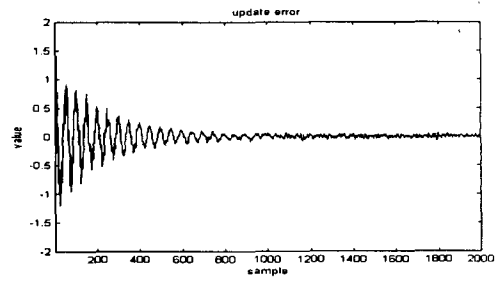


그림 6. 적응 보상기의 출력 신호

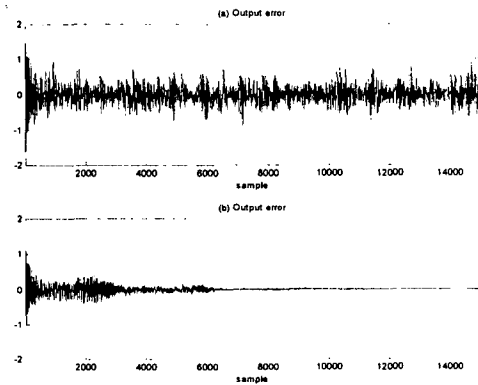


그림 7. 목표 신호와 출력 신호와의 오차값

- (a) Griffiths-Jim 부엽 제거기의 오차값과
- (b) 적응 보상기를 채용한 부엽 제거기의 오차값

참 고 문 헌

- [1] L.J.Griffiths and C.W.Jim,"An alternative approach to linearly constrained adaptive beamforming" IEEE Trans. on Antennas Propagat, vol.AP-30, pp.27-34,Jan.1982
- [2] J.M.Moschytz, "On the design of the target-signal filter in adaptive beamforming", Analog and Digital Signal Processing, IEEE Trans.on Circuits and Systems II, Volume: 46 Issue: 7, pp. 963 -966 , July 1999,
- [3] S.Nordholm, I.Claesson and P.Eriksson,"The broad-band Wiener solution for Griffiths-Jim beamformers.", IEEE Trans. on Signal Processing, Volume: 40 Issue: 2 , pp. 474 -478, Feb. 1992
- [4] P.M.Clarkson, Optimal and adaptive signal processing.CRC Press.(1993).
- [5] B.Widrow and S.D.stearns, Adaptive Signal Processing. Prentice Hall(1985).
- [6] D.H.Johnson and D.E.Dudgeon, Array signal Processing : Concepts and techniques. Prentice Hall(1993).