

고속 웨이브렛 변환 적응알고리즘을 이용한 적응잡음제거기에 관한 연구

이 채 욱, 박 세 기, 오 신 범, 강 명 수
대구대학교 정보통신공학부
전화 : 053-850-4403 / 핸드폰 : 011-520-9090

Adaptive Noise Canceler Using Fast Wavelet Transform Adaptive Algorithm

Chae Wook Lee, Se Ki Park, Shin-Byum Oh, Myung Soo Kang
Dept. of Computer and Information Engineering, Taegu University
E-mail : cwlee@taegu.ac.kr

Abstract

In this paper, we propose a wavelet based adaptive algorithm which improves the convergence speed and reduces computational complexity using the fast running FIR filtering efficiently. We compared the performance of the proposed algorithm with time and frequency domain adaptive algorithm using computer simulation of adaptive noise canceler based on synthesis speech.

As the result, the proposed algorithm is suitable for adaptive signal processing area using speech or acoustic field.

I. 서론

적용신호처리 분야에서 steepest descent 방식인 LMS(Least Mean Square) 알고리즘은 식이 간단하고 계산량이 비교적 적기 때문에 널리 사용되고 있다. 그러나 시간영역에서 처리할 경우 입력신호의 고유치 변동폭이 넓게 분포되어 수렴속도가 저하하는 문제점이 있다. 이를 해결하기 위하여 신호를 FFT(Fast Fourier Transform)나 DCT(Discrete Cosine Transform)으로 변환하여 신호간의 상관도를 제거함으로써 시간영역에서 LMS알고리즘을 적용할 때 보다 수렴속도를 크게

향상시킬 수 있다[1][2].

그러나 FFT나 DCT을 이용한 변환영역 적응알고리즘의 수행은 시간영역 신호를 변환영역으로 바꾸기 위해서는 추가적인 계산량이 필요하다. 이러한 대안으로 WTLMS(Wavelet Transform LMS)적용알고리즘이 발표되었으며 WTLMS 알고리즘은 기존의 변환영역 알고리즘에 비해 그 수렴성능이 우수하다[3].

본 논문에서는 수렴속도 향상을 위해 시간영역의 적응 알고리즘을 직교변환인 웨이브렛(wavelet)변환을 이용하여 적응알고리즘을 변환영역에서 수행하며, 변환영역에서 수렴성능 향상과 계산량을 줄이기 위하여 웨이브렛 기반 적응알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘을 적응잡음제거기(adaptive noise canceler)에 적용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 하였으며, 각 알고리즘들의 계산량, 수렴속도를 비교, 분석하여 제안한 알고리즘의 성능이 우수함을 입증하였다.

II. Wavelet의 수학적 개념

신호 $f(x)$ 를 분석하는데 가장 일반적인 접근 방법 가운데 하나는 이 신호를 적당한 기저함수들 $\psi_i(x)$ 의 일차 결합으로 다음과 같이 표현하는 것이다.

$$f(x) = \sum_i c_i \psi_i(x) \quad (1)$$

신호 $f(x)$ 는 신호의 시간영역에 관한 정보를 갖는 기

저함수로서 임펄스 함수를 이동함으로서 나타낼 수 있다. 주파수영역에 대한 신호의 정보를 알고 싶다면 푸리에변환을 나타내는 기저함수로서 정현파신호를 선택함으로서 가능하다.

웨이브렛 이론은 여러 스케일과 여러 해상도로 신호를 분석하는 것을 목적으로 발전되었다. 기저함수들은 웨이블릿이라 불리는 기본함수를 이동(shift)과 스케일(dilation)연산으로 구성한다. 즉 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\Psi_{ab}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (2)$$

여기서 a 는 스케일링 변수로서 양의 실수이고, b 는 이동변수이다. a 의 값이 크면 기본 웨이블릿함수가 좌우로 펼쳐진 모양으로 저주파함수를 의미하며, 상대적으로 작은 값이면 고주파함수를 의미한다. 또한 b 의 값에 따라 이들 함수들이 좌우로 이동하는 형태로 나타난다. 따라서 웨이블릿 변환에서는 b 는 시간영역, a 는 주파수영역을 대신하는 변수를 포함한다.

III. 웨이블릿 기반 적응알고리즘

시간영역에서 적응알고리즘을 처리할 경우 입력신호의 고유치 분포폭이 넓게 분포되어 수렴속도가 저하하는 문제점이 있다. 그러므로 본 연구에서는 시간영역이 적응알고리즘을 웨이블릿 변환을 하여 적응알고리즘을 변환영역에서 수행하고자 한다.

먼저 $N \times N$ 웨이블릿 변환 행렬을 T_w 라 정의하고 입력벡터 $X(n)$ 이 있을 때 웨이블릿 변환영역 입력벡터 $z(n)$ 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Z(n) = T_w x(n) \quad (3)$$

여기서 T_w 은 웨이블릿 저역통과필터와 고역통과필터로부터 구성되어진 행렬이다. 바라는 신호(desired signal) $d(n)$ 가 있을 때, 입력신호에 대한 자기상관(autocorrelation)행렬과 상호상관(inter-correlation)벡터는

$$\begin{aligned} R_{zz} &= E[z(n)z^T(n)] \\ &= E[T_w x(n)x^T(n)T_w^T] \\ &= T_w R_{xx} T_w^T \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} P_{zd} &= E[d(n)z(n)] \\ &= T_w P_{xd} \end{aligned} \quad (5)$$

로 나타낼 수 있다. 여기서 R_{xx} 와 P_{xd} 는 각각 시간영역에서 입력신호에 대한 자기상관행렬과 상호상관벡터이다. 식(6)이 적응알고리즘의 오차는 바라는 신호에서 적응알고리즘을 통과한 출력으로 계산되어진다.

$$e(n) = d(n) - y(n) \quad (6)$$

식 (6)의 MSE(Mean Square Error)을 최소화하기 위한 Wiener Solution은

$$g_{opt} = R_{zz}^{-1} P_{zd} \quad (7)$$

로 나타낼수 있으며, 웨이블릿변환의 직교성을 이용하여 원래 시간영역의 최적 임펄스응답인 h_{opt} 는 아래의 식에 의해 환원될 수 있다.

$$g_{opt} = T_w h_{opt} \quad (8)$$

적용알고리즘의 웨이트 벡터를 업데이트 시키는 알고리즘인 LMS알고리즘에 대하여 WTMLS알고리즘은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$g(n+1) = g(n) + \mathcal{R}_{zz}^{-1}(n) z(n) e(n) \quad (9)$$

여기서

$$\mathcal{R}_{zz}^{-1}(n) = \text{diag} [z_0^{-1}(n) \ z_1^{-1}(n) \ \dots \ z_{N-1}^{-1}(n)] \quad (10)$$

이다. N 은 적응필터의 차수를 나타내며, 식 (10)이 대각행렬은 다음과 같은 방법으로 추정할 수 있다.

$$Z_i(n) = \beta Z_i(n-1) + (1-\beta)(Z_i^2(n)), \quad 0 < \beta < 1 \quad (11)$$

IV. 제안하는 알고리즘

DWT은 입력신호와 웨이블릿 계수 사이에 컨벌루션(convolution)을 통해 변환이 이루어지므로 실제 하드웨어로 구현시 많은 연산량을 소모하게 된다. 이러한 컨벌루션의 계산을 줄이기 위한 방법으로 fast 컨벌루션 알고리즘이 제시되고 있는데 크게 두 가지 형태로 나눌 수 있다. 하나는 FFT에 기반한 고속 알고리즘이며 다른 하나는 short-length fast running FIR 알고리즘이다. 보통 필터의 차수가 긴 경우에는 FFT 기반 고속 알고리즘이 유리하며, 짧은 필터차수를 가지는 경우에는 short-length fast running FIR 알고리즘을 사용한다[4][5][6].

필터계수가 16차 이하인 경우에는 FFT를 이용한 고속컨벌루션(fast convolution)은 시간영역에서 컨벌루션보다 계산량이 증가하는 문제점이 있다. 그러므로 실제 DWT와 같은 짧은 필터계수를 가지는 응용분야에서는 이것에 맞는 적절한 고속 알고리즘을 적용해야 한다. 본 연구에서는 짧은 필터계수를 가지는 DWT 특성에 맞는 fast running FIR 알고리즘을 적용하여 기존에 FIR 필터와 계산량을 비교하여, 그 성능이 우수함을 입증한다.

일반적인 M 차 멀티레이트 분석, 합성 필터 뱅크를 그림 1 에 나타내었다. 그림 1 은 N 주기로 서브샘플링(subsampling)되고, 채널신호에 대한 필터링을 가지는 구조로서 아주 일반적인 형태의 멀티레이트 분

석, 합성 필터구조라고 할 수 있다.

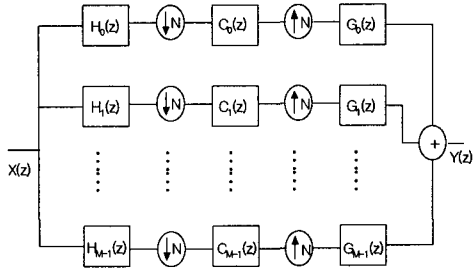


그림 3. 일반적인 M차 멀티레이트 분석, 합성 필터 뱅크

먼저 입력신호 $x(n)$ 에 대한 z 변환(z transform)을 $X(z)$ 라 하고 N 에 의해 서브샘플된 출력신호 $y(n)$ 에 대한 z 변환을 나타내면 다음과 같다.

$$Y(z) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} X(W_N^n z^{1/N}), W_N = e^{-j2\pi/N} \quad (12)$$

역으로 입력신호 $x(n)$ 에 대한 업샘플링(upsampling)된 신호에 대한 z 변환은

$$Y(z) = X(z^N) \quad (13)$$

로 나타낼 수 있다.

컨벌루션 알고리즘은 입력신호와 임펄스응답을 z 변환하면 z 변환 영역에서는 변환된 신호들이 다항식의 곱형태로 나타낼 수 있으므로 효율적으로 수행할 수 있다. 먼저 $N=2$ 로 서브샘플되고, 다음에 따르는 필터구조를 갖는 3채널 필터뱅크가 있다는 가정 하에 고속컨벌루션 알고리즘을 유도하기로 하겠다.

$$h(z) = [z^{-1}, 1 + z^{-1}, 1]^T \quad (14)$$

$$C(z^2) = \text{diag}[H_0(z^2), H_0(z^2) + H_1(z^2), H_1(z^2)]^T \quad (15)$$

$$g(z) = [1 - z^{-1}, z^{-1}, z^{-2} - z^{-1}]^T \quad (16)$$

식 (12)과 식 (13)의 관계를 이용하여 그림 1의 시스템의 출력을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Y(z) = [z^{-1} \cdot H_0(z^2) + z^{-2} \cdot H_1(z^2)] \cdot X(z) \quad (17)$$

이제 원하는 필터(desired filter)가 $H(z)$ 주어질 때 $H_0(z^2), H_1(z^2)$ 은 다음 방법으로 나타낼 수 있다.

$$H_0(z^2) = \frac{1}{2} [H(z) + H(-z)] \quad (18)$$

$$H_1(z^2) = \frac{1}{2} [H(z) - H(-z)] \quad (19)$$

여기서 $H(z)$ 의 필터 차수가 $2K$ 일 때, 식 (18), 식 (19)의 필터차수는 K 로 줄어든다. 식 (18), 식 (19)을 사용하여, 식 (17)을 나타내면,

$$Y(z) = z^{-1} \cdot H(z) \cdot X(z) \quad (20)$$

로 나타낼 수 있다. 식 (20)과 식 (18), 식 (19)에서 보는 것처럼 한 개의 지연소자를 추가함으로써 원래 FIR 필터가 가지는 필터차수보다 반으로 줄어든 3개의 필터로 대체할 수 있다. 즉 25% 출력 샘플당 곱셈수를 줄일 수 있다. 반면에 추가비용으로 두 개의 입력당 한번의 덧셈과 두 개의 출력당 3번의 덧셈이 필요하다. 알고리즘에 대한 블록도를 그림 2에 나타내었다.

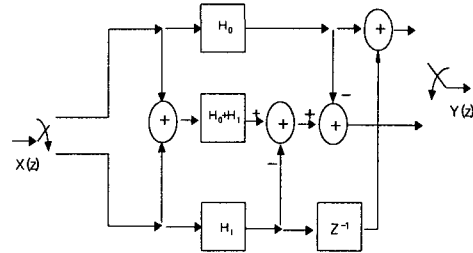


그림 2. short-length fast running FIR 알고리즘

FIR 필터의 차수를 L 이라 가정했을 때, 기존의 FIR 필터와 고속 FIR 알고리즘 사이에 수학적인 계산량을 비교해 보면, 기존의 FIR 필터가 한 개의 출력당 L 번의 곱셈과 $(L-1)$ 번의 덧셈이 필요한 반면, 고속 FIR 알고리즘인 그림 2는 출력 한 개당 $(3/4)L$ 번의 곱셈과 $2 + (3/2)(L/2 - 1) = (3/4)L + 1/2$ 번의 덧셈이 필요하다.

V. 시뮬레이션

시뮬레이션 환경은 입력 $x(n)$ 은 평균이 '0', 전력이 '1' 인 white gaussian noise로 하였고, 원신호는 샘플링 주파수가 16kHz 이고 16bits 로 양자화한 여성합성음으로서 되어있다. 잡음의 잡음전달경로는 3차 FIR 필터로 근사화하였다. 입력음성 SNR은 -4.49dB가 되도록 하였다. 필터의 차수는 각 알고리즘 모두 32차로 하고, FLMS(Fast LMS)알고리즘인 경우는 블록길이와 필터차수의 길이를 갖게 하였다. WLMS 알고리즘인 경우 웨이브렛 변환은 Daubechies D_5 웨이브렛 필터를 사용하였다. 적응상수 μ 값은 LMS 알고리즘에 대하여 여러 번의 실험을 통해서 가장 우수한 0.005를 채택하였고, 다른 알고리즘에도 똑같이 사용하였다.

LMS와 주파수영역 알고리즘인 FLMS를 제안한 알고리즘인 WLMS 알고리즘 사이의 수렴성능을 MSE(Mean Square Error)를 통하여 비교하였다.

그림 3과 그림 4는 각각 원신호와 원신호에 잡음이 포함된 신호의 그래프이며 그림 5는 각 알고리즘별 MSE의 성능 곡선을 dB로 나타낸 그림이다. 그림 5에서 보는 것처럼 시간영역이 LMS 알고리즘보다 변환

영역에서 적응알고리즘을 처리했을 때가 입력 신호의 상관도를 제거시킴으로써 보다 낮은 성능을 보임을 알 수 있으며, 주파수 영역 알고리즘보다 웨이블릿 기반에서 적용한 WLMS 알고리즘이 성능이 우수함을 알 수 있다.

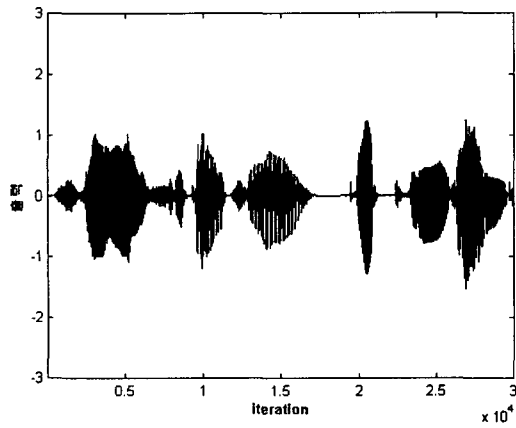


그림 3. 원신호에 대한 그래프

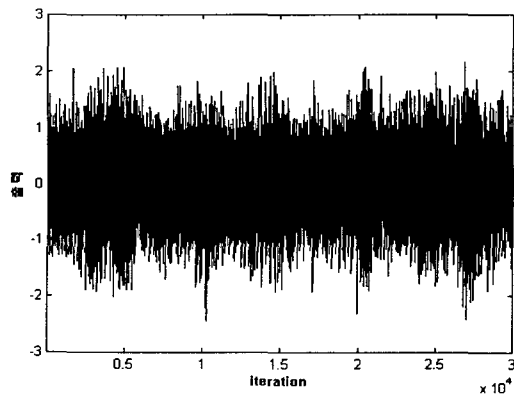


그림 4. 원신호에 잡음이 포함된 신호

VI. 결론

본 논문에서는 수렴속도를 향상시키기 위해서 시간 영역의 적응알고리즘을 웨이블릿 변환을 이용한 웨이블릿 기반 적응 알고리즘에 대하여 연구하였다. 또한 웨이블릿 변환을 보다 고속으로 처리하기 위한 알고리즘을 이용하여 곱셈의 계산량을 줄임으로써 보다 빠른 스피드로 알고리즘이 수행되도록 하였다. 그 결과 제안한 알고리즘은 적은 계산량으로도 기존의 알고리즘에 비해 안정되고 빠른 수렴특성을 보여 주었다.

제안한 알고리즘은 음성을 사용한 적응신호처리 분

야에 응용될 수 있으리라 본다. 향후 연구과제로는 웨이블릿 변환 특성에 대한 수학적 분석과 적응신호처리의 여러 분야에 웨이블릿 변환을 적용하는 연구에 대한 수행이 진행되어야 할 것이다.

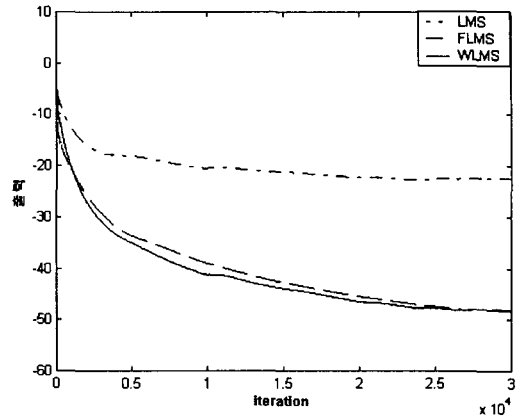


그림 5. 각 알고리즘에 대한 MSE 성능곡선

참고문헌

- [1] S.S. Narayan, M. Peterson, and J. Narasimha, "Transform domain LMS algorithm" IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, vol. Assp-31, pp. 609-615, June. 1983.
- [2] D.F. Marashall, W.K. Jenkins and J.J. Murphy "The use of orthogonal transform of adaptive filters" IEEE Trans. Circ. Syst., pp. 474-484, Apr. 1989.
- [3] Hosur and A.H. Tewfik, "Wavelet Transform Domain LMS Algorithm", Proc. ICASSP-93, pp. 508-510, April 1993.
- [4] Z. J. Mou P. Dauhamel, "Short-length FIR filters and their use on fast nonrecursive filtering", IEEE Trans. Signal Proc., vol 39, pp. 1322-1332, June 1991.
- [5] M. Vetterli, "Running FIR and IIR Filtering Using Multirate Filter Banks", IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Proc., vol ASSP-36, pp. 730-738, May 1988.
- [6] O. Rioul and P. Duhamel, "Fast Algorithms for Discrete and Continuous Wavelet Transforms", IEEE Trans. Information Theory, vol. 38, No. 2, March 1992.