일반화 격자구조의 적응 Joint-Process IIR 필터의 구현

오현철* · 김윤상* · 김재일** · 심재선*** · 안두수*
*성균관대학교 전기공학과 · 동이공업전문대학 전기과 · ***삼척산업대학교 전기공학과

Implementation of Adaptive Joint-process IIR Filter with Generalized Lattice Structure

Hyun-Cheol Oh* · Yoon-Sang Kim* · Jae-Il Kim** · Jae-Sun Sim*** · Doo-Soo Ahn*
Dept. Electrical Eng. SungKyunKwan Univ. · DongEui Technical coll · SamChuk Natic

Abstract - An adaptive joint-process IIR filter with generalized lattice structure is implemented by modifying the conventional lattice filter and making an adaptive algorithm in a system identification problem.

1. 서 론

최근, 자음제거기(noise canceller), 시스템동정(system identification), 적응모델링(adaptive modeling) 분야에서 디지탈 신호처리(DSP)를 이용하여 효과적이고 쉽게 구현할 수 있는 트랜스버셜 필터(transversal filter)가 널리 사용되고 있다. 그러나, 필터입력신호가 음성신호처럼 상관도가 높은 신호인 경우 고유치 분포율(eigenvalue spread ratio)이 증가하여 수렴성능 저하를 초래하는 원인이 된다[1][2]. 따라서, 신호처리 분야에서 수렴속도(convergence speed)를 향상하기 위한 연구가 진행되고 있다.

순환 최소 자승 알고리즘(RLS : recursive least square algorithm)은 오차 제곱의 합을 최소화한다. 그러나 필터의 파라미터를 구하기 위한 많은 연산량과 필요한 메모리는 필터 계수의 수에 비례하여 증가하며, 고속 RLS알고리즘은 오차의 누적 때문에 불안정하게 되는 단점을 갖고 있기 때문에 주로 LMS(least mean square) 알고리즘을 사용하여 적응필터를 설계하고 있다[3].

적응 joint-process lattice 필터는 후방예측오차(backward prediction error)간에 상관도가 존재하지 않아 수렴속도를 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라, 유한 정밀도의 DSP(a finite precision digital signal processor)를 이용한 수치적 연산 특성이 우수하다. 또한, Gram-Schmidt 직교화 과정을 각 단계별로 (stage by stage) 수행하기 때문에 모듈화 하기가 용이하다. 그러나, 임펄스 응답이 긴 경우, 연산량 때문에 실시간 구현이 어려운 단점이 있다.

따라서, 본 논문에서는 기존(conventional)의 격자필터에서 단위 지연요소를 H(z)로 대체하므로서 일반적인(generalized) 격자구조를 갖는 적응 joint-process IIR 필터를 구현하는 방법을 제안한다. 제안된 필터는 궤환(feedback) 구조를 가지는 적응 IIR 격자 필터이지만 FIR 필터처럼 모든 단계(stage)에서 후방예측오차는 직교특성을 만족하므로 빠른 수렴속도 특성을 가진다. 또한, FIR과 IIR 특성을 함께 포함하며, 기존 알고리즘을 그대로 적용할 수 있을 뿐만 아니라, 기존의 격자구조와 비교하여 더 좋은 수렴특성을 적용예를 통하여 보였다.

2. 본 론

2.2 일반화 격자필터의 구현

일반화된 격자구조의 적응 joint-process IIR 필터의 블럭도는 그림1에 나타내었다.. 그림으로부터 i번째 단계에 대한 전방예측오차 $f_i(n)$와 후방예측오차 $b_i(n)$의 관계는 다음과 같다.

$$f_i(n) = f_{i-1}(n) + \gamma_i \hat{b}_{i-1}(n) \quad (1)$$

$$b_i(n) = \hat{b}_{i-1}(n) + \gamma_i f_{i-1}(n) \quad (2)$$

단, γ_i는 i번째 단계의 반사계수(reflection coefficient)이며, H(z)는 다음과 같이 정의되는 전역통과(all-pass) 필터를 이용하였다.

$$H(z)=\frac{z^{-1}-a}{1-az^{-1}} \tag{3}$$

여기서, a는 궤환 파라미터이다. $a=0$인 경우 단위지연소자(ordinary delay operator)와 같게 되어, $H(z)=z^{-1}$, 제안된 필터는 기존의 joint-process FIR 격자 필터의 구조와 같다.

N차 필터의 전달함수인 식(3)의 극(pole)은 전체 필터의 특성방정식을 결정한다. 따라서, 식(3)이 안정할 때 즉, $|a|<1$일 때 필터는 안정한다. 또한, 필터의 전체 구조가 격자구조이기 때문에 격자계수(lattice coefficient) γ_i는 1과 -1 사이에 값을 가져야 한다.

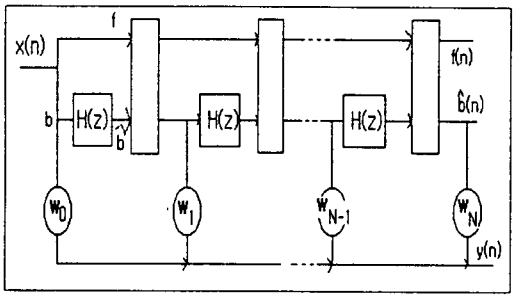

그림 1. 일반화 격자 joint-process IIR 필터

2.2 일반화 격자 IIR 필터의 적응 알고리즘

2.1절에서 제안한 적응 joint-process 필터의 필터 출력은 다음과 같다.

$$y(n)=\sum_{i=0}^{N} W_i\, b_i(n) \tag{4}$$

여기서, W_i는 i번째 단계의 탭계수(tapped coefficient)이다.

기대신호(desired signal) $d(n)$에 대한 다음의 평가함수 J_d을 정한다.

$$J_d=\frac{1}{2}E[\{e(n)\}^2] \tag{5}$$

단, $e(n)=d(n)-y(n)$

격자계수를 구하기 위하여, 다음과 같은 평가함수를 정의한다.

$$J_\gamma=\frac{1}{2}E[\{f_i(n)\}^2+\{b_i(n)\}^2] \tag{6}$$

각각의 계수에 대하여 J_d와 J_γ를 최소화 하기 위하여 LMS 알고리즘을 이용하면 다음을 얻을 수 있다

$$\gamma_i(n+1)=\gamma_i(n)+\mu_1\,\hat{\nabla}\gamma_i(n) \tag{7}$$

$$a_i(n+1)=a_i(n)+\mu_2\,\hat{\nabla}a_i(n) \tag{8}$$

$$W_i(n+1)=W_i(n)+\mu_3\,\hat{\nabla}W_i(n) \tag{9}$$

여기서, μ_i는 수렴인자(convergence factor)이다. 그리고, $\hat{\nabla}\gamma_i(n)$, $\hat{\nabla}a_i(n)$와 $\hat{\nabla}W_i(n)$는 각각 다음과 같이 주어진다.

$$\hat{\nabla}\gamma_i(n)=-\frac{\partial J_\gamma}{\partial \gamma_i(n)} \tag{10}$$

$$\hat{\nabla}a_i(n)=-\frac{\partial J_d}{\partial a_i(n)} \tag{11}$$

$$\hat{\nabla}W_i(n)=-\frac{\partial J_d}{\partial W_i(n)} \tag{12}$$

식(10)에 식(6)을 대입하면, $\hat{\nabla}\gamma_i(n)$는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{\nabla}\gamma_i(n)=f_i(n)\,\hat{b}_{i-1}(n)+b_i(n)f_{i-1}(n) \tag{13}$$

위와 같은 방법으로, 식(11)과 식(12)에 대하여 식(5)을 대입하면, 다음의 $\hat{\nabla}a_i(n)$와 $\hat{\nabla}W_i(n)$을 얻을 수 있다.

$$\hat{\nabla}a_i(n)=-e(n)\sum_{i=0}^{N} W_i(n)\,\psi_i(n) \tag{14}$$

$$\hat{\nabla}W_i(n)=-e(n)b_i(n) \tag{15}$$

단,

$$\psi_i(n)=\frac{\partial b_i(n)}{\partial a(n)} \tag{16}$$

일반화 격자필터는 각 단계에 대하여 $H(z)$에서 궤환(feedback)을 갖고 있기 때문에 식(16)의 해를 얻기 위하여, 식(16)에 식(2)를 대입하여, 계산할 수 있다. 그러나, $b_i(n-1)$의 샘플값을 필요로 하므로, 이를 해결하기 위하여 μ_2를 충분히 작은 값으로 선택하였다면 a는 다음과 같은 근사식으로 나타낼 수 있다.

$$a(n)\fallingdotseq a(n-1) \tag{17}$$

그러므로, 식(17)을 이용하면 식(16)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\psi_i(n) = \hat{\psi}_{i-1}(n) + \gamma_i \zeta_{i-1}(n) \quad (18)$$

$$\zeta_i(n) = \zeta_{i-1}(n) + \gamma_i \hat{\psi}_{i-1}(n) \quad (19)$$

여기서,

$$\zeta_i(n) = \frac{\partial f_i(n)}{\partial a(n)}$$

그러므로, 식(11),식(12)와 식(13)의 해를 구하여 식(7), 식(8)과 식(9)에 대입하므로서 모든 계수를 반복적으로 갱신(update)할 수 있다.

4. 적 용 예

제안된 방법이 타당성을 검증하기 위하여, 시스템 동정 문제에 적용하여 모의 실험을 수행하였다. 사용된 시스템은 다음과 같다.

$$G(z) = \frac{0.0154z^{-3} + 0.0462z^{-2} + 0.0462z^{-1} + 0.0154}{1.0000z^{-3} - 1.9000z^{-2} + 1.4500z^{-1} - 0.4270}$$

모의실험에 사용된 필터는 3차를 선택하였으며, 각각의 파라미터 팔미터는 $\mu_1 = 0.001$, $\mu_2 = 0.001$, $\mu_3 = 0.35$이다.

모의 실험 결과, 그림3은 기존의 격자필터의 출력과 제안된 격자 필터의 출력을 비교하여 도시하였으며, 그림4는 J_d를 도시하였다.

결과로부터 알 수 있는 것처럼 제안된 방법이 수렴성능 특성이 우수함을 알 수 있다.

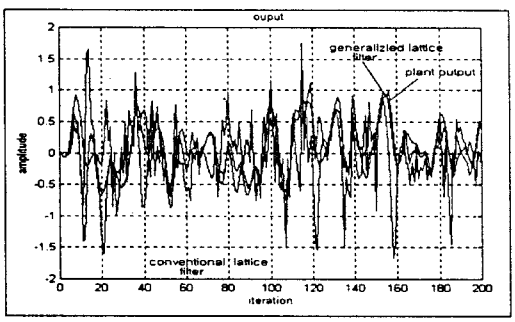

그림 2. 기존의 방법과 제안된 방법에 의한 시스템 출력의 비교.

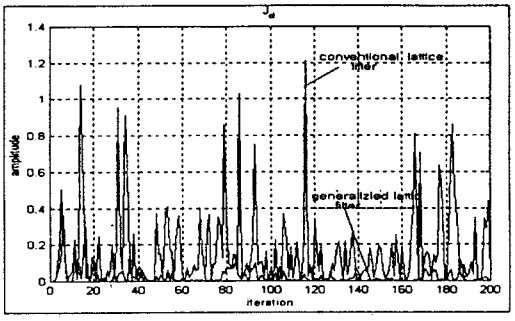

그림 3. 기존의 방법과 제안된 방법의 평균자승오차의 비교

5. 결 론

본 논문에서는 기존(conventional)의 격자필터에서 단위 지연요소를 H(z)로 대체하므로서 일반적인(generalized) 격자구조를 갖는 적응 joint-process IIR 필터를 구현하는 방법을 제안하였다. 모의 실험결과 기존의 적응 격자필터보다 제안된 필터가 빠른 수렴속도 특성을 보였다.

[참 고 문 헌]

[1] A. H. Grary, Jr and J.D. Markel,"Digital lattice and ladder filter synthesis", IEEE Trans. Audio Electroacoust., vol.21, no.6, pp.492-500,1973.

[2]A. H. Grary, Jr and J.D. Markel,"A normalized digital filter structure", IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, vol.23, no.3, pp.268-277, 1975

[3]Messerschmitt, D. G, "A class of generalized lattice filters", IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, vol.28, pp.198-204, 1980

[4]Shynk, J. J., "Adaptive IIR filtering", IEEE ASSP, Mag., pp.4-21, 1989

[5]S. L.Netto and P. Agathoklis,"composit Algorithms for adaptive IIR filtering using lattice realization",IEEE pacific rim conference on communication computer and signal processing, pp.189-192, 1995