

향상된 온라인 모델링 방법을 이용한 능동 소음 제어 시스템

박 병 옥*, 최태호*, 김 학 윤*
*청주대학교 전자공학과

Active noise control system using modified on-line secondary path modeling method

Park, Byoung-Uk* Choi, Tae-Ho* Kim, Hack-Yoon*
*Dept, Electronic Eng, Chongju Univ

afatpup@chongju.ac.kr, vision77@chongju.ac.kr, hykim@chongju.ac.kr

"본 연구는 과학기술부한국과학재단 지정 청주대학교 정보통신연구센터의 지원에 의한 것입니다."

Abstract

In an active noise control(ANC) system using the Filtered-X least mean square(LMS) algorithm, the online secondary path modeling method by exploiting a random noise generator is applied. This method is suitable for secondary path modeling. However, it is increased the residual error of the ANC system.

In this paper, we presents an ANC system improved online secondary path modeling method which is modified Kuo and Zhang model that is the secondary path estimation by the additive noise. In addition, our proposed model is used that additive noise is transformed into the signal multiplied reference signal by gain control parameter and delayed.

이의 오차로 인하여 오동작을 일으키게 되는 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 온라인 이차경로 모델링 방법을 이용하여 이차 경로의 전달함수 값을 갱신하는 방법이 제안되었다[1-2]. 그 대표적인 방법이 Kuo와 Bao가 제안한 방법이다. 그 중 Kuo가 제안한 모델은 예측오차 필터를 사용하여 오차 성분 중, 주 경로 오차만을 제거하여 잡음 값을 얻어 내어 이차경로를 모델링하는 방법이다[2]. 그러나, 이 방법은 이차 경로의 모델링 성능은 향상 되었으나, 소음제거 성능이 향상되지 않았다[3]. 또한, Bao모델을 변형시켜 소음제거 성능을 어느 정도 향상시킨 Zhang 모델이 제안되었다[4].

따라서, 본 논문에서는 기존 모델을 일부 수정 보완하여 소음제거 성능을 향상시킬 수 있는 시스템을 제안하고, 또한 제안한 모델에서 사용되고 있는 최적의 지연값을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 찾아내고자 한다.

I. 서론

능동소음제어는 제어하고자하는 주 소음원에 동전폭·역위상의 신호를 중첩시켜서 소음을 제어하는 방식으로 현재 폭넓게 연구되어지고 있다. 능동소음제어 방식에서는 Filtered-X LMS 알고리즘이 적용 알고리즘으로서 널리 사용되고 있다[1-4]. Filtered-X LMS 알고리즘은 고속이면서, 강건하며, 다른 알고리즘에 비하여 연산량이 적다는 장점을 가지고 있다. 그러나, 이 알고리즘은 이차 경로의 전달 특성을 미리 동정하고, 동정한 전달함수를 이용하여 소음을 제거하는 알고리즘이다[1-2]. 따라서 실제적인 소음계에서는 실시간적으로 변화하는 이차경로를 정확하게 모델링 할 수 없기 때문에, 2차 경로의 전달함수와 모델링 전달함수사

II. 기존의 능동제어 시스템

2.1 Kuo 모델

온라인 방법을 이용하여 2차 경로를 모델링 하는 방법들 중에서 부가 잡음을 이용하여 2차 경로를 모델링하는 방법은 Eriksson에 의해서 제안되었다. 그 후 Eriksson 모델이 가지고 있는 단점을 보완하기 위하여 새로운 모델들이 지속적으로 제안되고 있다.

제안된 방법들 중에서 부가잡음을 이용하여 온라인 2차 경로를 모델링하는 중요한 두 가지 중요한 기법은 Bao와 Kuo에 의해서 제안된 것이다. 이 모델들은 잔여오차신호에 존재하는 불필요한 간섭신호를 제거함으로써 Eriksson 모델보다 더 좋은 소음제거 성능을 얻

있다. 그림 1에 Kuo가 제안한 모델의 전체적인 시스템 블록도를 제시하였다[2].

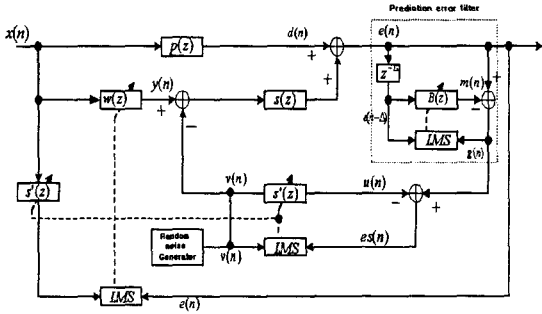


그림 1. Kuo's model

Kuo 모델은 기본적인 온라인 이차경로 모델링방식에 적응 예측 오차 필터 $B(z)$ 를 사용하여, 잔여오차에 존재하는 간섭신호를 추적하고, 이 간섭신호의 영향을 제거하기 위하여 제안되었다. 그림 1에서 이차경로의 전달함수 $S(z)$ 를 차수 M 인 FIR필터로 가정하고, 잔여오차신호를 구하면 다음 식과 같이 된다.

$$e(n) = d(n) + [y(n) - v(n)] * s(n) \quad (1)$$

수식을 간략히 하기 위해 $d(n) + y(n) * s(n) = f(n)$ 이라 놓고 수식을 정리하면,

$$e(n) = f(n) - v(n) * s(n) = f(n) - \sum_{m=0}^{M-1} s_m(n) v(n-m) \quad (2)$$

가 된다. 여기서 $s_m(n)$ 은 시각 n 에서 $S(z)$ 의 임펄스 응답의 m 번째 값을 나타낸다.

또한, 적응 예측오차필터 $B(z)$ 는 참조신호 $e(n-\Delta)$ 와 오차신호 $g(n)$ 을 사용하여 적응 알고리즘에 의해 계수 값을 갱신하게 된다. 이 때 이용되는 $g(n)$ 은 식 (3)과 같다.

$$g(n) = e(n) - e(n-\Delta) * b(n) = d(n) + y'(n) - v'(n) - [d(n-\Delta) + y'(n-\Delta) - v'(n-\Delta)] * b(n) \quad (3)$$

그러므로, 예측 오차필터의 계수값 $b(n)$ 은 다음 식에 의하여 갱신된다.

$$b(n+1) = b(n) - \mu_2 e(n-\Delta) g(n) \quad (4)$$

여기서, Δ 는 지연을 나타낸다.

만약, 부가 잡음 신호 $v(n)$ 이 평균값이 0인 백색잡음을 사용한다면, 신호 $f(n)$ 과는 서로 무상관이 되므로, 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$E[e(n)e(n-\Delta)] =$$

$$E[f(n)f(n-\Delta)] + \sum_{j=0}^{M-1} s_j(n) \sum_{i=0}^{M-1} s_i(n) \cdot E[v(n-j)v(n-i-\Delta)] \quad (5)$$

식 (5)에서 첫 번째 항은 오차신호 $f(n)$ 에 기인하며, 두 번째 항은 부가 잡음신호 $v(n)$ 의 영향을 받는다. 또한, 지연값 Δ 는 2차 경로의 전달함수의 차수인 M 보다는 길거나 같아야한다.[2]

2.2 Zhang 모델

Zhang 등은 Bao 모델을 변형시켜서 개선한 모델로 Bao모델의 오차필터의 입력으로 잔여오차 $e(n)$ 과 모델링된 이차경로의 값인 $u(n)$ 을 이용하는 모델을 제안하였다. 그림 2에 Zhang 모델의 블록도를 보였다[4].

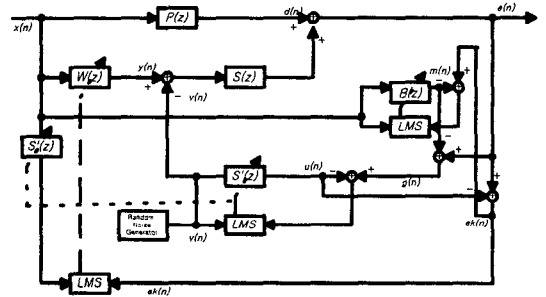


그림 2. Zhang's model

Zhang 모델에서는 오차 필터 $B(z)$ 의 적응 알고리즘 입력으로 잔여오차성분 $e(n)$ 에서 모델링된 이차 경로의 값 $u(n)$ 을 제거한 값인 $e_k(n)$ 과 $x(n)$ 값을 이용하여 적응시키고 있다.

여기서,

$$e_k(n) = e(n) - s'(n) * u(n) \quad (6)$$

$$e(n) = d(n) - s(n) * y(n) + s(n) * v(n) \quad (7)$$

$s'(n) = s(n)$ 일 때, 이상적인 경우로,

$$e(n) = d(n) - v(n) * y'(n) = (p(n) - s(n) * w(n)) * x(n) \quad (8)$$

이 된다. $e_k(n)$ 은 $x(n)$ 과 완전 상관이 있게 되므로 $v(n)$ 에 따른 간섭은 대부분 제거되게 된다. 즉, $e(n)$ 대신에 $e_k(n)$ 값을 적응필터 $W(z)$ 의 오차 신호로서 사용할 수 있고, 또한 부가적인 적응 필터 $B(z)$ 의 목적 신호로도 사용할 수 있게 된다[4].

따라서, 적응 필터 $W(z)$ 의 식은,

$$w(n+1) = w(n) - \mu_w x'(n) e_k(n) \quad (9)$$

이 된다. 이 결과, $v(n)$ 에 기인한 간섭신호는 거의 제거된다.

그러므로 부가적인 적응필터 $B(z)$ 는

$$b(n+1) = b(n) - \mu_b x(n)(e_k(n) - m(n)) \quad (10)$$

가 된다. 이 식에서 μ_b 는 적응 필터의 스텝 사이즈를 나타내고, 적응 필터의 출력 값 $m(n)$ 은 $x(n)*b(n)$ 가 된다.

또한 모델링된 이차경로의 적응필터 $S'(z)$ 는

$$s'(n+1) = s'(n) - \mu_s v(n)(g(n) - u(n)) \quad (11)$$

가 되며, 여기서 $g(n) = e(n) - m(n)$ 이다.

III. 제안한 모델

본 논문에서 제안하고자 하는 시스템의 기저는 Kuo 모델에 기반을 두고 있다. 즉, Kuo 모델에서는 부가잡음 생성기를 따로 사용하고 있으나, 제안하고자 하는 모델에서는 부가 잡음 생성기를 별도로 사용하지 않고 참조신호의 값에 파라미터 이득값 g 를 곱한 후, Δ_1 만큼 지연시켜 부가잡음을 생성하여 사용할 수 있도록 하였다[3]. 또한, 예측 오차 필터의 입력신호로서 잔여오차 $e(n)$ 값과 모델링된 2차 경로의 출력값인 $u(n)$ 값을 이용하여 개선하였다. 제안하는 시스템의 블록도는 그림 3과 같다.

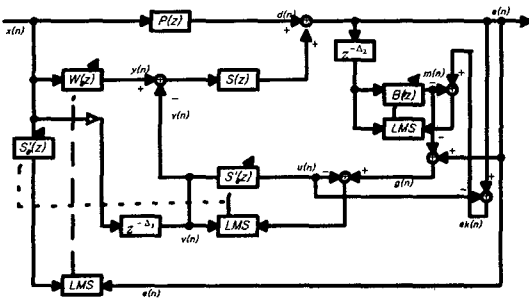


그림 3. 제안한 모델

그림 3에서 부가잡음은

$$v(n) = g x(n - \Delta_1) \quad (12)$$

이다. 여기서, g 는 참조신호의 크기를 조절하는 파라미터 값으로 부가잡음이 너무 큰 값을 가지게 되면 전체 시스템의 성능이 나빠질 수 있기 때문에 적당한 크기의 값을 만들어 주고, Δ_1 은 참조신호 $x(n)$ 을 지연시켜 적응필터의 출력신호와 부가적인 오차 신호 $v(n)$ 이 서로 무상관인 신호로 만들기 위하여 사용하였다.

그림 3에서 $S(z)$ 가 차수 M 인 FIR필터를 사용한 오차신호는 식 (13)과 같다.

$$\begin{aligned} e(n) &= d(n) + [y(n) - gx(n - \Delta_1)] * s(n) \\ &= d(n) + y(n) * s(n) - gx(n - \Delta_1) * s(n) \end{aligned} \quad (13)$$

위의 식에서, $f(n) = d(n) + y(n) * s(n)$ 으로 놓고, $v'(n) = gx(n - \Delta) * s(n)$ 으로 치환하면,

$$e(n) = f(n) - v'(n) \quad (14)$$

가 된다. 또한, 예측 오차 필터의 계수값 $b(n)$ 은 식 (15)에 의하여 갱신된다.

$$b(n+1) = b(n) - \mu_2 e(n - \Delta_1) e_k(n) \quad (15)$$

여기서, $e_k(n) = e(n) - u(n)$ 이다. 또한, 모델링된 이차경로의 입력으로 사용되는 $g(n)$ 은

$$g(n) \approx gx(n - \Delta) * s(n) \quad (16)$$

가 되며, 이 식에서 $s(n)$ 은 2차 경로 $S(z)$ 의 n 번째 임펄스응답을 나타낸다. 그러므로 $S(z)$ 의 n 번째 계수 $\hat{s}(n)$ 은 식(17)에 의해서 갱신된다.

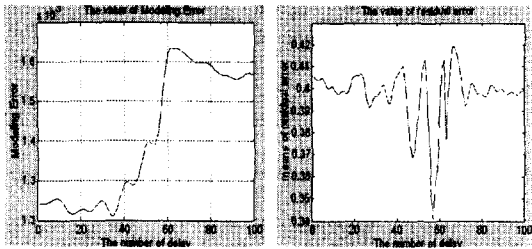
$$\hat{s}(n+1) = \hat{s}(n) - \mu_3 gx(n - \Delta_1) e_s(n) \quad (17)$$

식 (17)에서 μ_3 는 모델링한 2차 경로 필터의 계수 값을 갱신하기 위해 사용하는 스텝사이즈를 나타내고, $e_s(n) = g(n) - u(n)$ 이다.

IV. 컴퓨터 시뮬레이션

본 논문에서 제안한 모델과 Kuo 모델, Zhang 모델의 성능을 비교하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 행하였다. 시뮬레이션 조건은 다음과 같다. 참조신호는 평균값이 0이고, 평균과파가 1인 백색잡음을 사용하고, 적응 필터의 탭 수는 128탭, 주 경로 전달계(소음 전달계), 2차 경로 전달계, 모델링한 2차 경로 전달계는 각각 64탭의 FIR필터를 사용하였으며, 오차필터는 25탭의 FIR필터를 사용하였다. 또한, kuo 모델과 제안한 모델에서 사용한 예측 오차 필터의 지연은 64로, 이득 조정용 파라미터 g 값은 0.03으로 설정하였다.

우선, 제안한 모델에서 지연 값 Δ_1 에 의해 시스템의 2차 경로의 동정성능과 시스템의 소음제어성능이 크게 영향을 받게 되므로, 지연 값 Δ_1 을 정확하게 구하는 것이 중요하다. 우선, 시스템이 수렴하기 위한 범위를 구하기 위하여 지연값 Δ_1 의 변화에 따른 이차경로의 동정 성능과 잔여오차를 그림 4에 나타냈다. 그림 4 (a)는 지연값의 변화에 따른 이차경로의 동정 성능을 나타낸 것이고, (b)는 잔여오차의 평균값을 나타낸 것이다. 그림 4 (a),(b)에서 잔여오차 값과 모델링



(a)이차 경로의 동정성능 (b) 잔여오차
그림 4. 지연 값의 변화에 따른 이차경로의 동정 성능 및 잔여오차

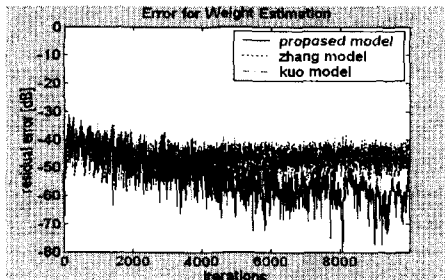
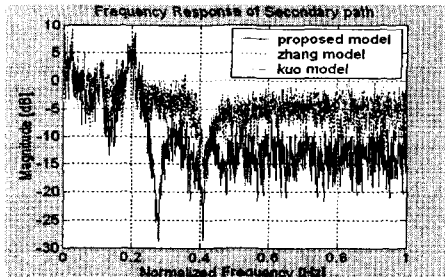
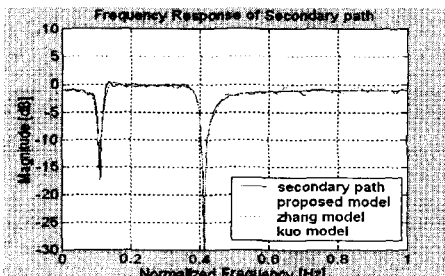


그림 5. 반복횟수에 따른 잔여 오차값 [dB]



(a) 소음제거 성능



(b) 이차경로 동정 성능

그림 6. 각 모델의 소음제거 성능과 이차 경로 동정성능

에러 값이 공통적으로 작은 값을 취하는 최적의 부분이 42 지점이므로, 본 논문에서는 지연 값을 42로 취하고, 다음의 시뮬레이션을 행하였다.

본 논문에서 제안한 모델과 Kuo모델, Zhang모델을 비교하여 보면 그림 5와 같다. 그림 5는 반복횟수에 따른 잔여오차 값을 나타낸 것이다. 위의 그림은 정확한 분포를 알아보기 위하여 잔여오차의 크기를 10점 이동 평균하여 구한 값을 나타낸 것이다.

또한, 3가지 모델의 소음 제거 성능과 이차경로의 동정 성능을 비교하기 위한 주파수 특성을 그림 6에 나타내었다. 그림 6 (a)는 제안한 모델과 Zhang모델, Kuo모델과의 잔여오차 값의 주파수 특성을 도시한 것이다. 이 그림에서 잔여오차의 값의 변화를 보다 정확히 표시하기 위하여 10점 이동평균값을 구하여 나타내었다. 그림6 (b)는 세 모델의 이차경로의 동정 성능을 나타낸 것이다. 그림 6에서 세 모델의 이차경로 모델링 성능은 거의 대등한 결과를 얻을 수 있었으나, 소음 제거 성능면에서는 Kuo모델보다 Zhang모델의 소음 제거 성능이 좋았고, 이 두 모델보다는 본 논문에서 제안한 모델이 보다 더 좋은 소음 제어 성능을 얻었다.

V. 결론

본 논문에서는, 부가잡음을 이용하여 2차 경로의 전달계를 온라인으로 동정하고 있는 Kuo모델과 Zhang모델을 수정 보완하여 향상된 온라인 방법에 의한 능동 소음 제어 시스템을 제안하였다. 컴퓨터 시뮬레이션 결과, 제안한 시스템의 2차 경로의 동정성능은 Kuo모델과 Zhang모델과 거의 동일한 결과를 얻었지만, 소음 제거 성능면에서는 기존의 두 모델보다 우수한 결과를 얻었다. 또한, 제안한 시스템에서 사용하고 있는 지연 Δ_1 값을 시뮬레이션을 통하여 최적값 42를 얻었다.

참고 문헌

- [1] S.M.Kuo and D.R.Morgan, *Active Noise Control System-Algorithms and DSP Implementation*, New York: Wiley, 1996
- [2] S.M.Kuo and D.Vijayan, "A secondary path modeling techniques for active noise control systems", *IEEE Trans. Speech Audio Processing*, vol. 5, pp. 374-377, July 1997
- [3] 박병욱의 "적용오차필터를 이용한 수정된 2차경로 모델링 방법" 한국음향학회 학술발표대회, vol.21, no.2(s), pp.387-390, 2002
- [4] Zhang, "Cross-Updated Active Noise Control System with Online Secondary Path Modeling". *IEEE Trans. Speech Audio Processing*, vol. 9, pp. 598-602, July 2001