

월쉬 변환의 직교화 특성을 이용한 능동 소음제어의 성능 향상

안두수* 김중부** 최승욱*** 임국현***
 *성균관대학교 전기공학과 **인덕전문대 전자과 ***(주)태산정밀 연구소

Performance improvement of active noise control using orthogonalization property of Walsh transform

Doo-Soo Ahn* Jong-Boo Kim** Seung-Uk Choi* Kook-Hyun Yim***
 *Dept. of Electrical Eng., Sung Kyun Kwan Univ.

Dept. of Electronics, In Duk Jr. College *R&D Center, Tae San Precision Co. Ltd.

Abstract - This paper presents an active noise control (ANC) algorithm using orthogonalization property of Walsh transform. Conventional ANC algorithm known as filtered-x LMS(FXL) algorithm has a problem of decreasing convergence speed in FIR adaptive filters operating in colored noise environments. Walsh transform decompose an input signal into a set of N uncorrelated components and reduce eigenvalue spread of autocorrelation matrix of input sequences. Computer simulations show that proposed (FXW) algorithm is superior to FXL in convergence speed.

1. 서론

최근 소음제어는 수동적인 방식에서 능동적인 방식으로의 전환이 이루어지고 있다. 일반적으로 수동 소음제어는 저주파 소음의 제거에는 적당하지 않으며 특히 부피, 무게가 늘어나는 문제점을 갖고있다[2]. 능동 소음제어(ANC, Active Noise Control)는 파의 상쇄간섭원리(Principle of destructive disturbance)를 기본 원리로하며, 이는 1930년대 미국 Leug의 특허에서 최초로 제안되었다. 그러나, 당대 ANC의 성능은 극히 제한적이었으며 실제적인 구현은 80년대부터 시작되었다[2][3]. 적용제어기법의 발달, 음향 시스템 분석의 향상 및 DSP chip과 같은 전자 부품의 급속한 발달은 능동 소음제어의 구체적인 구현을 촉진하였고, Global 제어를 위한 적응 제어알고리즘의 향상이 요구되고 있다.

본 논문에서는 능동 소음제어기의 성능향상을 위해 월쉬 변환의 직교화 특성을 이용하였다. 2절에서는 능동 소음제어기의 시스템 모델링을 하였고, 3절에서 월쉬 변환의 도입 및 그로인한 제어기의 성능 향상을 논의하였다. 4절에서는 컴퓨터 모의시험을 통해 제안한 알고리즘에 의한 능동 소음제어기의 성능향상을 확인한다.

2. 능동 소음제어 시스템의 모델링 및 특성

능동 소음제어 시스템의 기본구조는 그림 1과 같다. 소음은 소음원으로부터 음향 경로 $R(z)$ 을 거쳐 제어될 원 하는 지역 내의 오차 마이크로 전달된다. ANC는 기준 마이크로 소음 신호를 받아, 이 기준 신호를 이용하여 복성기를

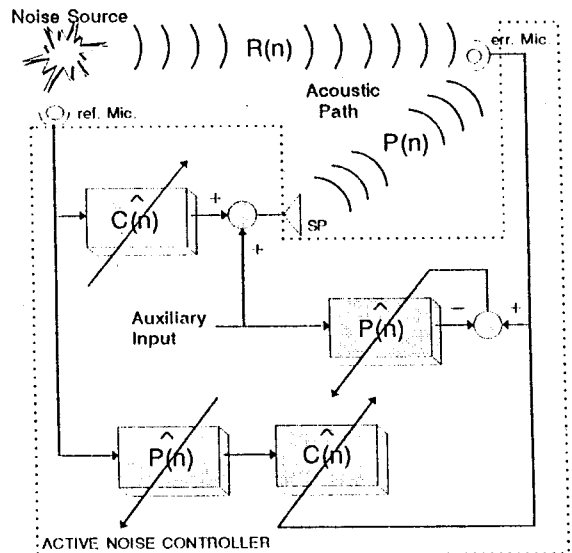


그림 1. 능동 소음제어 시스템
 Fig.1 Active Noise Control System

통해 출력한 음파가 오차 마이크로에 이르러서는 원 소음 신호와 크기가 같고 위상이 반대인 음파가 되도록 $C(z)$ 을 제어한다.

ANC에 사용되는 일반적인 적응 알고리즘은 filtered-x LMS 알고리즘으로 계산이 간단하여 설계에 가장 많이 적용되고 있다[1].

$$c(n+1) = c(n) + \mu r(n)e(n) \tag{1}$$

여기서 μ 는 수렴계수이고, $r(n)$ 은 기준입력신호를 오차 음향경로 $P(n)$ 을 필터링한 신호이며, $e(n)$ 은 오차 마이크로 신호이다.

$$r(n) = p(n) * x(n) \tag{2}$$

$$e(n) = d(n) - \hat{y}(n) \quad (3)$$

FXL 알고리즘의 수렴특성은 다음과 같은 입력 프로세스의 자기상관행렬 R 에 관계한다.

$$R \triangleq E[x(n)x^T(n)] \quad (4)$$

여기서, R 는 positive definite 행렬이며, 이것은 수렴을 위한 필요조건이다. LMS 알고리즘이 수렴을 하기 위한 또다른 필요조건은 수렴계수 μ 가 $0 < \mu < \lambda_{\max}$ (여기서, λ_{\max} 는 R 의 최대 고유치)이어야 한다는 것이다[1]. 한편, LMS 알고리즘을 사용할 때 각 웨이트의 수렴 시계수는 그에 해당하는 자기 상관행렬의 고유치에 반비례한다. 따라서, 이상적인 수렴은 고유치 범위가 1일 때이며, 이는 입력 신호가 백색잡음 즉, 자기 상관성이 없다는 것이다. 또한, 이 범위가 증가할수록 수렴속도는 느려지며, 이는 입력신호가 유색잡음 즉, 자기 상관성이 크다는 것이다.

3. 윌쉬변환에 의한 알고리즘의 수렴특성 향상

능동소음제거에 사용되는 filtered-x LMS 알고리즘은 알고리즘의 입력신호가 플랜트(음향 오차경로) 모델에 의해 필터링되기 때문에 항상 자기 상관성을 갖게된다. 이것은 능동 소음제거기가 소음원의 자기 상관성과는 별개로 입력 신호가 유색잡음이 됨을 의미한다.

입력신호의 자기 상관성을 줄이려는 시도로써 RLS 알고리즘이 제안되었지만, 과도한 연산량 증가와 Nonstationary 시스템에서의 불안정 등으로 실제 적용의 어려움이 알려져 있다. 반면 윌쉬변환의 직교화 특성을 이용한 제안된 알고리즘(FXW)은 입력신호를 직교화하여 수렴을 향상시키면서 LMS 알고리즘의 강인성을 유지하며, 특히 다른 직교 변환에 비해 연산량 증가가 많지 않아서 실제 적용이 용이하다.

윌쉬변환에 의해 입력의 자기 상관행렬은 다음과 같이 변환된다.

$$R_T = A^{-1}(TRT^T)A^{-1} \quad (5)$$

$$A = \text{diag}[\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_N]$$

T : 윌쉬 변환행렬

변환에 의한 고유치 범위의 지감효과를 확인하기 위해 1차 마코프 프로세스와 그것을 윌쉬변환한 프로세스의 자기 상관행렬을 비교하자. 1차 마코프 프로세스는 백색잡음을 다음과 같은 AR 필터모델을 통과시켜 얻을 수 있으며, 각 프로세스의 고유치 계산 결과는 표 1과 같다.

$$P(z) = 1/(1 - 0.5z^{-1}) \quad (6)$$

표 1. 각 알고리즘의 고유치 범주

	FXL	FXW
고유치 범주 ($\lambda_{\max}/\lambda_{\min}$)	42.3534	5.3609
λ_{\max}	4.8846	1.9109
λ_{\min}	0.1153	0.3564

표 1에서와 같이 윌쉬변환에 의해 고유치 범위가 약 5분의 1로 줄어들었음을 알 수 있다. 이러한 고유치 범위의 지감효과로 인해 알고리즘에 있어서 각 랩 계수는 고른 수렴분포를 보일 것을 예상할 수 있다.

4. 컴퓨터 모의시험 및 고찰

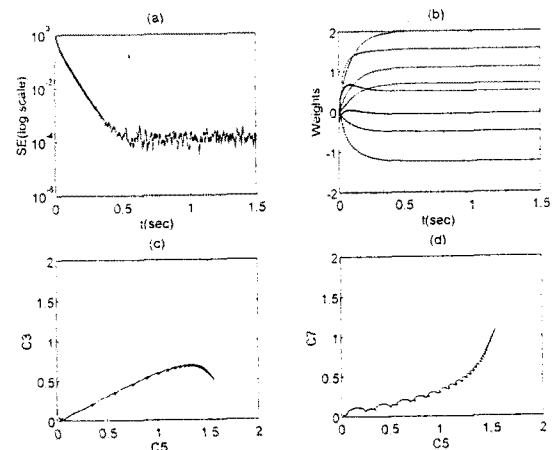
제한한 알고리즘의 검증은 위해 SISO 및 MIMO의 능동소음제거 시스템 모델에 모의하였다.

소음원의 잡음은 자동차 및 비행기 등의 소음제거 응용에 가까운 120 및 240 Hz의 정현파와 $\sigma=0.02$ 인 백색잡음이 부가된 신호를 사용하였다. 음향경로 $R(z)$ 는 순수 지연요소로, $F(z)$ 는 다음과 같은 FIR filter로 모델링하여 모의하였다.

$$F(z) = 1 - 1.9994z^{-1} + 2.4539z^{-2} - 1.9884z^{-3} + 1.0198z^{-4} - 0.3273z^{-5} \quad (7)$$

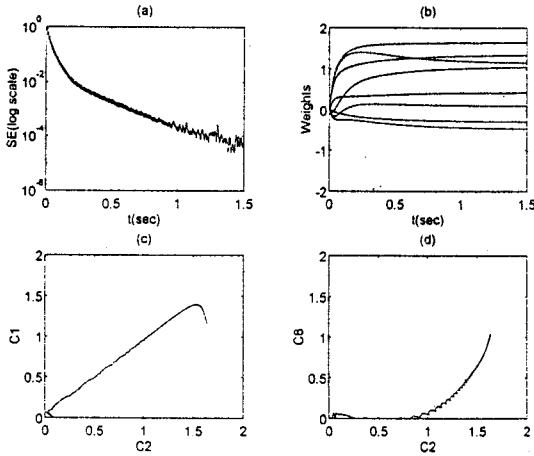
시험 결과로 FXL 및 FXW 알고리즘에 대한 입력 자기 상관행렬의 고유치 범위는 표 2와 같다. 3절에서의 계산과 마찬가지로 약 5분의 1로 줄어든 결과를 확인할 수 있다.

수렴속도와 적응오차(Misadjustment)는 수렴계수와 비교, 반비례의 관계를 가지므로 수렴속도의 비교를 위해, 각 알고리즘의 수렴계수는 적응오차가 -40dB가 되도록 결정하였다.



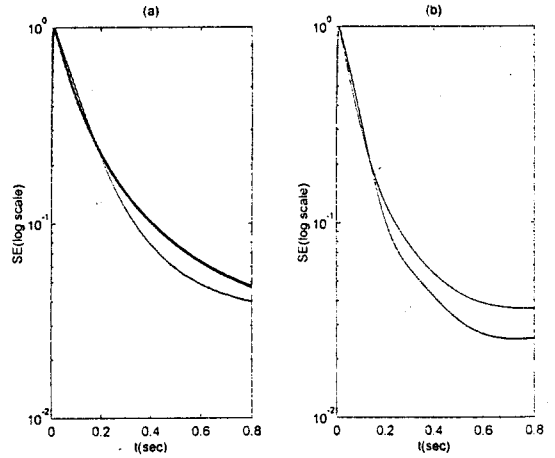
(a) SE 학습곡선, (b) 상대 제적, (c)(d) 상대제적(2차원)

그림 2. FXL 알고리즘의 모의 결과
Fig.2 Simulation with FXL



(a) SE 학습곡선, (b) 상태 궤적, (c)(d) 상태궤적(2차원)

그림 3. FXW 알고리즘의 모의 결과
Fig.3 Simulation with FXL



(a) err mic.1 및 (b) err mic.2 의 SE

그림 4. 다중 채널 시스템에의 모의 결과
Fig.4 Simulation to Multi-Channel System

표 2. 각 알고리즘의 고유치 퍼짐

	FXL	FXW
고유치 퍼짐	443.58	79.85

그림 1과 2(a)를 비교하여 보면, 오차 마이크 입력의 지승이 FXL보다 FXW가 빨리 줄어들음을 알 수 있다. 시간에 대한 상태 궤적인 (b)에서 FXL은 각 상태의 수렴 속도가 고르지 못하고 오버 혹은 언더슈트등이 보이지만, FXW는 고른 수렴 속도를 보여 윌쉬변환의 구체적인 효과를 확인할 수 있다. 이는 각 그림 (c), (d)의 2차원 상태 궤적에서 FXW가 FXL보다 최적치에 좀더 직선으로 수렴하는 것에서도 확인할 수 있다.

FXW 알고리즘의 글로벌(Global) 제이시 성능을 확인하기 위해 2-액츄에이터, 2-센서를 갖는 다중채널 시스템에도 적용하였다. 그 결과 단일 채널에서와 같이 적교화 특성이 나타났으며, 그림 3과 같이 수렴 속도가 빨라짐을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문은 능동 소음제이기의 성능향상을 위해 윌쉬 함수의 적교화 특성을 이용하였다. 윌쉬 변환에 의해 FXL 알고리즘의 문제점인 입력 자기상관행렬의 고유치 퍼짐 문제를 완화할 수 있으며, 특히 윌쉬변환이 타 적교 변환에 비해 연산량이 적어 설계에의 적용이 용이할 것으로 판단된다.

6. 참고문헌

- [1]B. WIDROW and S.D. STERNS, ADAPTIVE SIGNAL PROCESSING, Englewood Cliffs, NJ: Prectice-Hall, 1985
- [2]J.C. BURGESS, "Active adaptive sound control in a duct :a computer simulation," Journal of the Acoustical Society of America 70, pp. 715-726, 1981
- [3]A.J. EFRON and L.C. HAN, "Wide-area adaptive active noise cancellation," IEEE Trans. on Circuits and Systems-II, Vol. 41, No. 6(June 1994), pp. 405-409
- [4]D.FMARSHALL, W.K.JENKINS, and J.J.MURPHY, "The use of orthogonal transforms for improving performance of adaptive filters," IEEE Trans. on Circuits and Systems, Vol. 36, No. 4(April 1989), pp. 474-484