

ANC의 빠른 수렴을 위한 적응 필터 초기화 기술

*김상민 한석현 박호종

광운대학교

*ksm619@kw.ac.kr

Adaptive Filter Initialization for Fast Convergence of Active Noise Cancellation

*Kim, Sangmin Han, Seokhyeon Park, Hochong

Kwangwoon University

요약

본 논문에서는 ANC 시스템의 빠른 수렴을 위한 적응 필터의 초기화 방법을 제안한다. 기존 ANC 시스템은 적응 필터의 계수를 0으로 초기화한다. 이러한 초기화 방법은 일반적으로 발생하는 외부 소음의 특성을 고려하지 않은 방법으로 ANC의 수렴 소요시간이 길다. 이와 같은 문제를 해결하고자 본 논문에서는 핑크 노이즈를 입력으로 ANC를 수행하여 얻은 적응 필터의 계수 값을 초기값으로 사용하는 새로운 초기화 방법을 제안한다. 제안한 방법으로 여러 잡음에 대해 실험한 결과, 낮은 초기 에러를 갖고 기존 방법보다 빠르게 수렴하는 것을 확인하였다. 또한, 기존 방법에서 수렴하지 못한 일부 소음에 대해서도 수렴하는 것을 확인하였다.

1. 서론

Active noise cancellation (ANC) 기술은 산업 현장에서 발생하는 소음 문제에 따라 외부 소음을 제거하기 위하여 발전해 왔다[1]. 나아가 ANC 기술은 헤드폰에도 적용되며 음악 감상을 선호하는 많은 사람들의 관심을 받고 있다.

헤드폰의 ANC 시스템은 레퍼런스 마이크와 에러 마이크 그리고 하나의 내부 스피커로 이루어져 있다. 레퍼런스 마이크에서는 시스템에 입력되는 소음을 측정하며, ANC 시스템은 측정된 소음 신호를 적응 필터에 통과시켜 소음 방지 신호(anti-noise)를 생성한다. 생성된 소음 방지 신호는 헤드폰의 내부 스피커를 통해 출력된다. 에러 마이크에서는 소음과 소음 방지 신호가 상쇄되고 남은 에러를 측정한다. 적응 필터는 least mean square (LMS) 알고리즘을 기반으로 측정된 에러를 사용하여 갱신한다. 적응 필터가 정상적인 소음 제거 기능을 수행하기 위해서는 소음경로의 전달함수를 모델링하고 에러가 수렴하기까지 시간이 필요하다.

기존 ANC 시스템에서는 적응 필터의 계수 값을 0으로 초기화하는 방법을 사용한다. 이것은 일반적으로 발생할 수 있는 소음의 평균 특성을 고려하지 않은 초기화 방법으로 초기 단계에서 큰 에러가 발생한다. 초기 단계에서 큰 에러는 동일한 조건에서의 많은 갱신 횟수를 갖게 되어 수렴 소요시간을 길어지게 한다. 에러가 수렴하기 전까지는 ANC의 성능을 보장할 수 없기 때문에 이러한 문제를 개선하기 위한 새로운 초기화 방법이 필요하다.

제안하는 방법은 핑크 노이즈를 입력으로 ANC를 수행하여 얻은 적응 필터의 계수 값을 새로운 ANC 적응 필터의 초기값으로 사용한다. 제안하는 방법으로 ANC를 수행하면 초기 에러가 기존 방법보다 낮아지는 것을 확인하였다. 따라서 동일한 환경의 ANC 동작에서 초기화 방법만

으로 ANC의 수렴 속도를 높일 수 있다. 나아가 기존 초기화 방법에서 수렴에 도달하지 못한 소음에 대해서도 제안하는 방법은 빠르게 수렴하는 것을 확인하였다.

2. 제안하는 적응 필터 초기화 방법

ANC 시스템은 그림 1과 같은 구조로 나타낼 수 있으며, 여기서 $x(n)$ 은 입력신호, $W(z)$ 는 적응 필터를 나타내며, $P(z)$ 는 소음경로의 전달함수를 나타낸다.

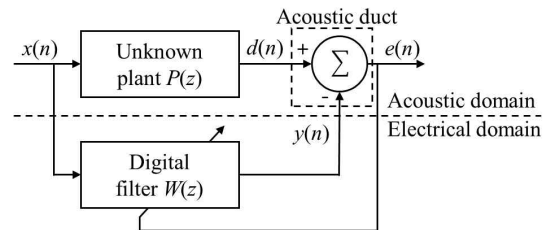


그림 1. ANC 시스템 구조도

Fig. 1. ANC system structure diagram.

이와 같은 구조에서는 $W(z)$ 가 $P(z)$ 를 모델링하는 동작을 수행하며 LMS 알고리즘에 따라 $W(z)$ 는 에러 신호인 $e(n)$ 의 값이 최소가 되도록 갱신한다. $e(n)$ 의 계산 방법과 $W(z)$ 갱신 과정은 식 (1)과 식 (2)이다.

$$e(n) = d(n) - y(n) \quad (1)$$

$$W(n+1) = W(n) + \mu x(n)e(n) \quad (2)$$

기존 방법의 $W(z)$ 초기값은 0으로 설정하고 LMS 알고리즘에 따라 ANC를 수행하여 에러가 일정 수준에 도달할 때까지 반복한다. 동일한 실험환경에서 $W(z)$ 의 초기값을 $P(z)$ 와 비슷하게 설정하면 초기 단계의 에러가 작아지고 에러가 수렴하기까지의 소요시간이 짧아진다. 하지만 실제 환경에서 $P(z)$ 를 알 수 없다. 이에 제안하는 방법은 소음의 공통적인 특성을 고려하여 핑크 노이즈를 입력으로 ANC를 수행하여 얻은 적응 필터의 계수 값을 초기값으로 사용한다. 입력신호를 핑크 노이즈로 설정하고 $W(z)$ 와 $P(z)$ 를 통과해 얻은 신호를 사용하여 $e(n)$ 을 구한다. 계산된 $e(n)$ 을 이용해 LMS 알고리즘에 따라 $W(z)$ 를 갱신하고 ANC가 완료되면 $W_{pink}(z)$ 를 저장한다. 저장된 $W_{pink}(z)$ 를 새로운 ANC 시스템에서 초기 $W(z)$ 로 설정한다.

3. 성능 평가

ANC 시스템에서 적응 필터의 길이는 256으로 설정하고 기존의 LMS 알고리즘에서 일반화가 더해진 normalized LMS (NLMS) 알고리즘을 사용한다[2]. 스텝 사이즈는 가변 스텝 사이즈를 사용하여 에러를 최소화한다[3]. 사용한 소음의 종류로는 ‘화이트’, ‘핑크’, ‘브라운’, ‘글라인더’, ‘드릴 1’, ‘드릴 2’, ‘스팀 엔진’, ‘주유 펌프’, ‘샌딩기’, ‘전기톱’, ‘보잉 항공 엔진’을 사용하며 8 ms의 필터 딜레이를 갖는다.

성능 평가는 각 초기화 방법에 따라 여러 소음에 대한 성능을 확인한다. 제안하는 방법과 기존 방법을 수렴 소요시간과 에러의 에너지로 비교하며 측정 시간 단위는 1 ms 단위로 한다. 기존 방법에 가우시안 분포에 따라 랜덤변수로 초기화하는 방법을 추가하며, 이때 가우시안 분포의 평균은 0, 표준편차는 0.1로 설정한다. 그림 2는 11가지 소음 중 ‘글라인더’에 대해 ANC를 수행한 결과이며 초기값 설정에 따라 발생하는 에러의 에너지를 나타낸다. 그림 2에서 제안하는 방법이 기존 방법보다 에러가 빠르게 감소하는 것을 확인할 수 있다.

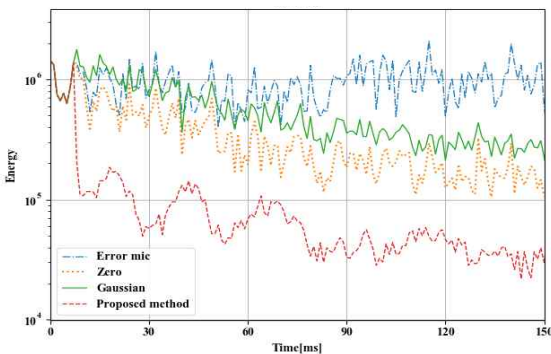


그림 2. 초기값에 따른 에러의 에너지
Fig. 2. Error energy of the various initial values.

적응 필터의 수렴 소요시간을 측정하기 위해서 시작점은 에러 마이크로 녹음된 ANC 동작 이전 구간 (0-8 ms) 에너지의 평균을 시작점으로 한다. 종료점은 에러가 더 이상 감소하지 않는 구간 (시작 후 500-1000 ms) 에너지의 평균으로 한다. 수렴 소요시간은 시작점을 0%, 종료점을 100%로 정할 때 에러가 90% 지점을 처음 통과하는 데 걸리는 시간을 의미한다.

표 1은 초기화 방법에 따라 각각 소음의 수렴 소요시간을 측정하여 비교한 결과이다. 적응 필터를 기존 방법으로 초기화한 실험에서 11가지

의 소음 중 ‘스팀 엔진’과 ‘전기톱’에 대해 제대로 수렴하지 못하였다. 수렴한 소음에 대한 평균 수렴 소요시간은 0으로 초기화했을 때 약 35.2 ms, 가우시안 분포에 따라 얻어진 랜덤변수로 초기화했을 때 약 68.8 ms이다. 제안하는 방법으로 실험한 결과, 모든 소음에 대해 수렴하였으며 평균적으로 약 9.1 ms가 소요되었으며 모든 데이터는 15 ms 이내로 수렴하였다. 따라서 제안하는 방법이 기존 방법보다 더 우수한 성능을 갖는 것을 확인할 수 있다.

표 1. 초기값에 따른 수렴까지 소요시간
Table 1. Convergence time of the various initial values.

noise class	initialization method		
	zero	gaussian	proposed method
white	43 ms	107 ms	8 ms
pink	31 ms	38 ms	8 ms
brown	33 ms	33 ms	9 ms
grinder	56 ms	151 ms	9 ms
drill 1	34 ms	90 ms	8 ms
drill 2	24 ms	50 ms	8 ms
steam engine	-	-	8 ms
gas pump	10 ms	10 ms	8 ms
sanding machine	76 ms	122 ms	11 ms
machine saw	-	-	15 ms
boeing engine	10 ms	18 ms	8 ms
average	35.2 ms	68.8 ms	9.1 ms

4. 결론

본 논문에서는 ANC 시스템의 빠른 수렴을 위한 적응 필터 초기화 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 LMS 알고리즘을 사용하여 핑크 노이즈에 대한 수렴한 결과를 구한다. 결과로 얻은 계수를 적응 필터의 초기값으로 설정하여 소음에 대해 ANC를 수행한다. 제안하는 방법에 따라 LMS 알고리즘을 사용하면 초기의 에러가 작게 나타나며, 이에 따라 ANC 시스템의 수렴 소요시간이 빨라진다.

감사의 글

이 논문은 2020년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2018-0-01407).

참고문헌

- [1] S.M. Kuo, and D.R. Morgan, "Active noise control : A tutorial review," *Proceedings of the IEEE*, Vol. 87, pp. 943-973, June 1999.
- [2] D.T.M. Slock, "On the convergence behavior of the LMS and the normalized LMS algorithms," *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol. 41, pp. 2811-2825, Sep. 1993.
- [3] V.J. Mathews, and Z. Xie, "A stochastic gradient adaptive filter with gradient adaptive step size," *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol. 41, pp. 2075-2087, June 1993.