

소음 제거기술개발 동향에 관한 연구

최동진 (LG유플러스)

목 차	1. 서 론
	2. 관련 연구
	3. 본 론
	4. 결 론

1. 서 론

좁은 의미에서, 소리 및 진동의 일관된 능동소음제어(ANC)는 일반적으로 소리 또는 진동의 외부 소스로부터의 역상 또는 동 위상 부가 신호의 중첩에 의한 상쇄 또는 강화이다.

능동소음제어(ANC, Active Noise Canceling)는 원래의 1차 소음원의 생성, 복사, 전송 및 수신에 영향을 미치는 제어 가능한 2차 소음원의 도입을 통해 기존 소음을 줄이는 방법으로 중량 및 볼륨 제약 조건이 있는 경우 현재 수동잡음제어 방법보다 저주파수 잡음 문제에 대한 더 나은 해법을 제공한다. 소음의 사회적 문제가 대두되는 상황에서 소음의 발생 빈도와 강약 등에 대한 체계적인 모니터링 및 데이터 관리 시스템의 필요성이 요구되고 있고 소음을 차단하거나 감소시킬 수 있는 능동소음제어 기술의 개발 필요성이 제기되어 왔다. 본 논문은 궁극적으로 소음을 제거하기 위한 지난 30년 간 연구된 능동소음제

어 기술의 일반적인 특성과 최근의 연구 동향을 파악하여 향후 연구개발의 나아가야 할 방향을 제시하고자 한다. 응용 영역으로는 능동소음제어 헤드셋, 청각 장애인용 ANC 헤드폰, 변압기, 자연 환기장치, 국부적 소음제어 장치, 실내공간 소음제어, 자동차의 능동소음제어, 덕트용 소음제어기, 통신 새시, 선박 엔진 소음제거, 능동 엔진마운트 시스템, 고층건물 진동제어 시스템, CPU 및 기타 전자 장비의 냉각 팬 속도를 제어, 구급차 사이렌 소음제거, MRI 소음제거, 인큐베이터 소음제거 등이 있다.

2. 관련 연구

ANC의 주요 주제는 음향 설계 방법, 최근 개발된 적응 제어 알고리즘, 새로운 제어 하드웨어 및 시스템, 새로운 애플리케이션 등이다. 음향 설계에서 변압기 소음과 같은 ANC 시스템의 실제 적용에는 일반적으로 접지와 벽이 소음원 주변

에 위치하고 반사 표면은 1차 소음 분포를 더 복잡하게 만들며 실제 성능에 영향을 준다. 일반 특성과 적응 제어 알고리즘은 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5에서와 같다. ANC 시스템은 일반적으로 2차 음원, 기준 센서, 오류 센서 및 제어기가 센서의 신호를 처리하고 2차 음원이 1차 음과 상호 작용하도록 구동하는 제어기로 구성되며 성능은 제어 소스 배열, 컨트롤러에 의해 최소화될 비용 기능, 오류 센서 배열, 참조 신호 품질과 전자 제어기의 최적화 순서와 제어 소스의 유형도 중요하다. 여기서, 참조 센서를 생략하여 전체 시스템의 하드웨어 비용과 설계 복잡성을 줄일 수 있고 추가 AD컨버터도 없앨 수 있다.

분산 멀티 채널 피드백 아날로그 제어 시스템은 변압기 소음 제어에 실용적이고 경제적 인 솔루션을 제공한다. 신규 애플리케이션 영역으로는 변압기, 자연 환기창, 통신 새시 등의 능동소음제거 등이다.

2.1 ANC의 일반 특성

ANC(Active Noise Control)은 능동소음제거를 일컫는 것으로 고성능 DSP 칩셋과 소형 마이크로폰 유닛의 등장으로 인해 급격하게 확산되고 있다. ANC의 기본적인 원리는 입사되는 소음을 수음 센서가 감지하여 위상 반전된 신호를 출력하여 상쇄시키는 것이다. 역위상을 사용한 소음 감쇄는 이론적으로는 완벽한 상쇄가 가능하지만 적용은 간단하지 않다. 수음 센서에서 감지한 소음 신호가 내부로 입사하는 소음의 유사도, 위상 반전 신호의 정확도, 신호 처리 속도 등의 요소에 의해서 성능이 결정되며 얼마나 많은 영역을 얼마나 정확하게 감쇄하는가에 따라서 외부에서 유입되는 소음의 감쇄 영역이 결정된다. ANC의 알고리즘은 크게 Feed forward 와

Feed back 2가지 타입으로 분류할 수 있다. Feed forward는 입사되는 노이즈에 대해 보정 필터 처리 후 대응되는 역상 패턴으로 적용된다. 외부에서 입사되는 신호에 대해서만 역상 신호를 재생하기 때문에 원본 음원을 훼손하지 않는 장점을 가지고 있으나 소음의 수음 지점과 최종 재생 지점의 차이, 보정 필터 보상의 단순화 문제로 감쇄량의 한계가 있다. Feed back 알고리즘은 최종 재생단에서 음원 신호와 소음을 동시에 수음한 뒤, 원본 신호 쪽으로 피드백하여 그 차이만큼을 보정하여 상쇄한다. 입사되는 노이즈 신호가 최종단과 가깝기 때문에 효과가 큰 편이나 최종단에서 노이즈와 출력된 음원을 동시에 원음에 피드백하기 때문에 그 과정에서 발생하는 원음의 손실이 우려된다.

2.2 Broadband Feedforward 알고리즘

단일 채널 광대역 전달 포워드 ANC 시스템은 음향, 아날로그 및 디지털 영역으로 구별된다. 잡음 소스로부터 전파하는 잡음은 마이크로폰과 같은 기준 센서에 의해 수집되고, 그 후 전치 증폭기, 엔티 앨리어싱 필터 및 ADC를 통해 디지털(샘플링 된) 기준 신호 $x(n)$ 가 얻어진다. 제어에 의해 신호가 처리된다 구성 필터 및 증폭기를 통해 2차 소스를 구동하는 샘플링된 안티-노이즈 신호 $y(n)$ 를 생성하기 위해 적응필터 $W(z)$ 를 사용한다. 예리 센서(마이크)는 샘플링된 잔류 신호 $e(n)$ 에 의해 ANC 시스템의 성능에 사용된다. 기본 경로 $P(z)$ 는 원점 센서의 음향 응답으로 구성되며 적응형 필터 $W(z)$ 는 LMS 알고리즘을 사용하여 필터 계수를 자동으로 적응시킴으로써 오차 신호 $e(n)$ 를 최소화한다. 따라서, 적응 필터 $W(z)$ 는 (z) 와 역모델 $S(z)$ 를 동시에 모델링해야 한다. 시스템의 성능은 2차 경로 $S(z)$ 의 전달 합

수를 크게 저해한다. 기준 센서가 기준 잡음을 포착 한 후, 제어기는 자기-잡음 스피커의 두 번째 스피커를 계산할 시간을 필요로 한다. 이 딜레이가 광대역 랜덤 잡음을 제거하는 시스템의 성능보다 떨어지게 면 광대역 랜덤 잡음을 제거하기 위한 성능이 저하될 것이다. 그러나 인과성 조건이 충족되지 않아도 시스템은 협대역 잡음을 제거 할 수 있다.

2.3 Narrowband Feedforward 알고리즘

협대역 ANC 시스템은 기준 신호 $x(n)$ 을 합성하기 위해 신호 발생기를 사용하여주기 및 협대역 잡음을 감소시킨다. 이 기법은 보조 라우드 스피커에서 기준 마이크로 되돌아가는 음향 피드백 방지, 기준 마이크와 관련된 비선형 성 및 노화 문제 방지, 인과 관계 완화, 개별 고조파 제어 가능 독립적으로, 그리고 고조파의 주파수에서 식물을 모델링하기 위해서만 필요하므로 더 낮은 차수의 FIR 필터로 충분할 수 있다. 기준 신호 발생기는 자동차의 회전 속도계와 같은 비음향 센서로부터의 동기 펄스에 의해 트리거링된다. 레퍼런스 신호의 유형은 일반적으로 협대역 시스템에서 사용된다. 주기적 노이즈의 근본적인 주파수의 역수와 동일한 주기의 임펄스 트레인, 상쇄되는 고조파와 동일한 주파수의 사인파. 첫번째 기법은 파형 합성 방법이라고 불리고 두번째 기법은 간섭 잡음을 현저하게 발전시킨 적응 노치 필터를 구현한다.

2.4 Filterd-X LMS 알고리즘

도로의 교통소음 뿐만 아니라 엔진이나 진동기와 같은 소음원은 소음주파수와 진폭이 연속

적으로 변화하게 되며 또한 온/습도, 공기의 흐름은 소음원의 속도와 형태를 변경시킨다. 이러한 가변 음향의 소음제거를 위해서는 필터 특성을 연속적으로 가변시켜야만 한다. 따라서 이러한 소음 저감을 위해서 신호 처리 기법의 최적필터를 도입하고자 할 때는 시스템의 정보가 불충분하거나 또는 시스템 계수 주변여건이 가변적일 경우 시스템의 계수를 추정하면서 필터링하는 LMS(Least Mean Square) 적응 필터링 기법의 도입이 필수적이다. 이때 적응필터(Adaptive filter)의 역할은 필터계수를 변화시키면서 출력 신호 $y(n)$ 를 목표신호 $d(n)$ 에 근접시키는 것이다. 즉 추정오차 신호를 최소화하는 것이 적응필터의 역할이다. 측정치와 추정치와의 오차신호에 제공의 값이 최소가 되도록 하는 최적값 W 를 구하기 위하여 오차신호의 제공에 기대값을 취한 것을 평가함수로 취하여 그 값이 제로가 되도록 편미분을 취하여 간략화시키야 한다. 따라서 가중치 벡터 W 의 업데이트($W(k+1)$)는 이전의 값에다 스텝사이즈와 오차와 입력 값의 곱으로써 갱신함으로써 수행되며 이로써 Widrow의 Filterd-X LMS 알고리즘 $W(k+1)=W(k)-2\mu e(k)x(k)$ 이 완성된다. μ 는 수렴상수, $e(k)$ 는 오차신호, $x(k)$ 는 입력신호 벡터이다. $C(z)$ 는 스피커의 입력과 센서출력 사이의 전달함수이며 $P(z)$ 는 소음원의 음향경로 전달함수로 $C(z)$ 가 미지이거나 시변이면 먼저 $C(z)$ 를 추정하여야 한다.

2.5 퍼지 LMS알고리즘

최근에 퍼지 개념을 채택하여 적응 정도에 따라 안정성을 해치지 않고 수렴속도를 개선한 LMS의 수렴계수를 적절히 가변시키는 수렴계수 갱신방식인 퍼지 LMS 알고리즘이 제안되었다. 기존 LMS 방식은 수렴계수 조정의 어려움이 있

으나 퍼지 LMS 알고리즘은 가장 수렴 특성이 빠른 계수로 선정하므로 실제 적용에는 어려움이 있다.

2.6 연속추정기법 및 MMAC 알고리즘

연속추정기법은Erikson의 의해 제안되어 많은 공조시스템에 사용되나 많은 계산이 요구되어 multi-pole 시스템에는 적용이 곤란하다. 이를 보완하여 MMAC(Multiple Model Adaptive Control) 기법이 나왔으며, 그러나, 시스템의 강인성은 증가시키나 전체 시스템의 정보를 사전에 알아야만 하는 단점이 있다.

2.7 HANC 시스템

전향 제어 시스템과 궤환 제어시스템을 함께 구성한 HANC(Hybrid Active Noise Control) 시스템은 센서로 전향 제어기 신호를 감지하고 검출된 잔차소음을 궤환 제어기의 Input이나 파라미터 적용용으로 사용한다. 이 알고리즘은 현재 상용화된 고성능 ANC 제품에서 사용하고 있는

방법으로 Feed forward 와 Feed back를 모두 활용하여 소음원과 최종단의 변수를 함께 처리하기 때문에, 효과가 뛰어나나 각 단계의 수음 센서를 증가시킬 경우 더 높은 정확도를 가질 수 있으나, 처리 속도에 부담을 줄 수 있다. Filterd-X LMS와 1차 소음 재발생 원리를 기반으로 설계되었으나 발전소 등의 대용량 엔진 등에는 실용성이 입증되었으나 자동차 등의 소용량 엔진에는 비싼 가격으로 적용에 어려움이 있다.

3. 본 론

전반적으로 소음이 많은 개방형 사무 환경과 계속되는 중요 통화를 처리하는 외근 작업자의 경우 ANC 기술은 불필요한 소음을 줄이고 혼란을 없애준다. ANC 기술을 적용한 유형별 특징은 <표 3-1>과 같다.

이외에도 실제 응용 영역은 매우 다양하다. 층간 소음제거, 능동 소음제어 이어폰, 방음창, 공사장의 방음벽, 차량내부 공간의 소리 차단, 차량 진동 소음제거, 비행기 소음제거, 기계류 소음제

<표 1> ANC Characteristics by type

Type	Model	Characteristic
Headset	Bluetooth Connection - Jabra Evolve 75 UC - Plantronics Voyager 8200 UC - Plantronics Voyager Focus UC - MB 660 UC - Jabra Evolve - Sony MDR-NC300D - Sennheiser CXC 700	Wireless Bluetooth ANC Headset \$279~449,95
	USB Connection - Plantronics Blackwire 725	PC softphone for all day users \$179,99
	USB and 3,5mm Connection - Jabra Evolve 80	Compatible with PC via 3,5mm port and USB \$329
	ANC Headsets for Desk Phones - Plantronics Savi 8220 - Plantronics MDA220 USB	First DECT wireless headset with ANC function Use ANC headset with business phones \$495,95

Type	Model	Characteristic
	Wireless - Sony WH-1000xM3 - BOSE QC35 II - Plantronics Backbeat Pro 2 - Sennheiser PXC 550 - JBL Everest Elite 700 - Sennheiser Momentum 2.0 Wireless - Bose QC25 - Phiaton BT150 NC	Wireless Noise Canceling Headset \$299.95~500
Road Noise Remove	To eliminate road noise ARNS (Active Road Noise Cancellation)	Road noise is a cause of discomfort due to the decrease of other sound sources of the vehicle and the lightening trend of the vehicle. Traditional methods of road noise reduction were heavy sound insulation, soft tires and compact suspension bushings. The trend is to apply the ANC technique, which is transmitted to a processing device that uses a transducer to produce a reverse-phase sound and transfers the generated sound to an infotainment amplifier used to drive the vehicle's loudspeakers.
Automobiles	A system that uses Ford's sonic waves to block the blast - Apply to the Mondeo Vignale model - Noise, vibration and harshness (NVH) - Figo, Afo, Endeavour와 MyKey	Three microphones inside the vehicle monitor ambient noise and emit sound waves to block unwanted sounds without affecting conversations or music in the car It continuously senses the opposite sound in real time and generates the opposite sound immediately and keeps it as a quiet room at all times. It tends to improve the fuel efficiency or to control the sound quality by decreasing the weight of the vehicle. This attenuates the low frequency noise, . The effective integration of the active noise control system with the audio system can significantly reduce costs. However, the microphones and associated wiring create additional costs for active control.
Cellphone	iPhone 5 or later	Improve voice quality of communication

거, 코골이용 소음 제거, 진공청소기, 식기세척기나 세탁기 등 가전 제품의 소음제거, 도로 노면 소음제거, 변압기 소음의 능동 제어, 자연 환기 창, 통신 새시, 군 관련 소음제거 영역 즉, 탱크, 군사용 로봇, 잠수함, 경찰용 드론 등이다. 다만, 현재 이 기술의 성공적인 산업 및 민간 응용은 헤드셋, 귀마개, 프로펠러 항공기 및 자동차와 같은 특정 사례에 국한되고 있으나 많은 제품들에 응용 프로그램을 적용하기 시작했으며 더 이상 소음제어 분야에 국한되지 않고 통신 및 IT 산업

과 같은 다른 분야에서 더 많이 등장하기 시작하고 있다. 더 나은 전자 하드웨어 및 디지털 신호 처리 알고리즘과 더 큰 시장 추진력으로, ANC의 이론, 방법 및 기술이 원래 한계를 넘어서고 있으며 응용 프로그램의 새로운 시대가 도래하고 있다.

4. 결 론

앞에서, 소음제거 기술의 발전 함께 적용 분야

도 많을 것으로 판단되며 본 연구를 활용한다면 좀더 나은 방향을 찾을 수 있을 것이다. 그러나, 최근에는 능동소음제어와 함께 능동진동제어에 관한 논문도 활발히 연구되고 있다. 국내에서도 또한 많은 연구가 진행 중이다. 2014년 한국기계연구원 초정밀시스템연구실에서 층간소음 저감을 위한 능동제어 선행기술 연구를 완료하여 층간소음을 30% 감소하였고 2013년 한국항공우주연구원은 헬리콥터 능동 진동제어 시스템의 현황 및 개발 방안을 마련하였다. 인하대학교는 차량 창문 소음 저감 장치를 소리젠플러스에서는 층간 소음제거 장비를 개발 중이다. 아이키산업에서는 건설중장비기기의 엔진배기소음 저감용 능동소음제어 장치를 사업화하였고 KAIST 소음 및 진동제어 센터에서는 차량 및 선박용 능동 소음진동 제어 기술, 기계 구조물의 방사 소음관련 기술 그리고 능동제어 스피커 등에 대한 연구를 진행하고 있다. 한양대학교 소음진동제어연구실에서는 소음진동 저감 신기술과 DSP를 이용한 능동 소음진동 제어 기술 등에 대한 연구를 활발하게 진행 중이다. 한국기계연구원 초정밀시스템 연구실에서는 공작기계 진동저감기술을 응용한 층간소음 저감 기술 개발을 한국기계연구원은 음향 메타물질을 활용한 흡음재 개발을 진행 중이며 포스코는 리모델링 아파트용 고망간강 바닥판을 개발을 하여 -13dB를 감소시켰다. 캐나다의 QNX는 S/W 기반 차량 내 능동 소음제어 솔루션을 아우디, GE 등에 공급하였고 자동차 엔진 뽐 노이즈(~150Hz)를 최대 -12dB까지 제거하는 기술을 보유하고 있다. 향후 실생활과 밀접한 관련이 있는 도로, 교통 및 자동차와 관한 ANC 연구와 홈 IoT의 일환인 층간소음 제거의 연구 필요성이 증가하고 있다.

참 고 문 헌

- [1] Bianchi, E., P. Gardonio, and S. J. Elliott, "Smart panel with multiple decentralized units for the control of sound transmission, Part III: control system implementation," *Journal of sound and vibration* 274,1-2 (2004): 215-232.
- [2] Doelman, N. J., and T. C. van den Dool, "Active vibration control for an optical delay line," *INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings*, Vol. 2002, No. 7, Institute of Noise Control Engineering, 2002.
- [3] Elliott, S. J., and P. A. Nelson, "The active control of sound," *Electronics & communication engineering journal* 2,4 (1990): 127-136.
- [4] E. Zwicker and H. Fastl, *Psychoacoustics: Facts and models* (Springer Science & Business Media, Berlin, 2013), pp. 203-237.
- [5] Gardonio, P., E. Bianchi, and S. J. Elliott, "Smart panel with multiple decentralized units for the control of sound transmission, Part I: theoretical predictions," *Journal of sound and vibration* 274,1-2 (2004): 163-192.
- [6] Gardonio, P., E. Bianchi, and S. J. Elliott, "Smart panel with multiple decentralized units for the control of sound transmission, Part II: design of the decentralized control units," *Journal of Sound and Vibration* 274,1-2 (2004): 193-213.
- [7] Gonzalez, Alberto, et al. "Subjective considerations in multichannel active noise control equalization of repetitive noise," *INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings*, Vol. 2002, No. 7, Institute of Noise Control Engineering, 2002.
- [8] Marcotte, Pierre, Chris R. Fuller, and Marty E. Johnson, "Numerical modeling of distributed active vibration absorbers (DAVA) for control of noise radiated by a plate," *INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings*, Vol. 2002, No. 7, Institute of

- Noise Control Engineering, 2002.
- [9] Shen, Sheng, et al. "MUTE: Bringing IoT to Noise Cancellation." (2018).
- [10] S. M. Kuo and D. R. Morgan, Active Noise Control Systems (John Wiley & Sons, New York, 1996), pp. 1-15.
- [11] S. M. Kuo and J. Tsai, "Residual noise shaping technique for active noise control systems," J. Acoust. Soc. Am, 95, 1665-1668 (1994).
- [12] Tanaka, Nobuo, and Scott D. Snyder. "Cluster control of a distributed-parameter planar structure—Middle authority control." The Journal of the Acoustical Society of America 112.6 (2002): 2798-2807.
- [13] Valentini, Fabrizio, and Fabio Scamoni. "ANC applied to building elements: real scale realisation." INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings, Vol. 2002, No. 7. Institute of Noise Control Engineering, 2002.
- [14] Kwak Moon-kyu, and Shin Ji-hwan. "Active Vibration Control of Building Structures Using Multi-Mode NAF Controller." The Journal of the Korean Association of Noise and Vibration Engineering (2017): 461-461.
- [15] Koo Jung Mo, et al. "Active Structure-Voice Controller Design of Flat Plate Using Mode Expansion Method." The Journal of the Korean Association of Noise and Vibration Engineering (2018): 133-133.
- [16] Koo Jung Mo, et al. "A Study on the Reduction of Noise through Active Control of Compressor Shell Vibration," the Journal of the Korean Association of Noise and Vibration Engineering (2017): 320-320.
- [17] Kim Seok-hong, Park Sang-gyu, and Kim Joon-ho. "The Recent Trends of Active Noise Control Technology," the Journal of the Korean Association of Noise and Vibration Engineering (1993): 134-139.
- [18] Kim Hyun-seok, and Park Young-jin. A Study on the Limit Performance Index of the Feed Forward ANC." The Journal of the Korean Association of Noise and Vibration Engineering (1995) 161-164
- [19] Munhakryong, and Son Jin-geun. "Real-time implementation characteristics of Active Noise Control using improved system controls," Power 1101 (2015): 2.
- [20] Park Young-jin, and Jung Ik-chae. "Design the controller of a compact-controlled sound source array for global active noise control." Korean Association of Noise and Vibration Engineering Academies (2018): 259-259.
- [21] Lee Jong-sik, "Development of Active Noise Controller for Air Conditioning Duct." The Journal of the Korean Association of Noise and Vibration Engineering (1990): 47-50.
- [22] Lee Hak-joon, and Park Young-jin. "Analysis of Adaptation-Noise Filter Algorithm for Cooperative Active Noise Control," the Journal of the Korean Association of Noise and Vibration Engineering (2018): 257-257.
- [23] Lee Ho-jin, et al. "Deeplearning-based characterization and selective noise abatement technology." The Journal of the Korean Association of Noise and Vibration Engineering (2018): 258-258.
- [24] Jung Ik Chae, and Park Young Jin. "New Hybrid Active Noise Control Algorithm for Better Reduction Performance." The Journal of the Korean Association of Noise and Vibration Engineering (2017): 331-331.1.
- [25] Jung Ik Chae, and Park Young Jin. "Uncombustible Hybrid Active Noise Control Algorithms," The Korean Society for Noise and Vibration Engineering Academies (2018): 221-221.

저 자 약 력



최 동 진

이메일 : super301c@naver.com

- 1992년 동국대학교 전자계산학과 (학사)
- 2008년 연세대학교 정보대학원 IT경영전략학과 (석사)
- 2018년 숭실대학교 일반대학원 IT정책경영학과 (박사)
- 1991년~1997년 삼성SDS 대리
- 1997년~1999년 LG인터넷 빌링팀장
- 2000년~현재 LG유플러스 책임
- 관심분야: AI, Intelligence, IT거버넌스, 정보보호