

# 신호 대 잡음비를 이용한 Adjusted Step Size NLMS 알고리즘에 관한 연구

준회원 이재균\*, 박재훈\*, 정회원 이재욱\*

## Research about Adjusted Step Size NLMS Algorithm Using SNR

Jae-Kyun Lee,\* Jae-Hoon Park\*, Associate Members, Chae-Wook Lee\*<sup>o</sup> Regular Member

### 요 약

본 논문에서는 실시간 자동차 환경에서 VSSNLMS(variable step size normalized least mean square)를 이용하여 적응 잡음 제거 알고리즘을 제안한다. 기본적인 ANC(adaptive noise canceller) 알고리즘인 LMS 알고리즘은 알고리즘의 간단성 때문에 가장 많이 사용되고 있다. 그러나 LMS 알고리즘은 수렴율과 실시간 환경에서의 정확성 사이에서 문제를 가지고 있다. 이러한 문제를 풀기 위해, 비정상성 환경에서 잡음제거를 위해 VSSLMS 알고리즘이 사용된다. 본 논문에서 실시간 데이터 입력 시스템을 사용하여 컴퓨터 시뮬레이션 함으로써, VSSLMS 알고리즘이 LMS 알고리즘에 비해 수렴율과 정확성 이 모두에 더 효율적이라는 것을 입증한다.

**Key Words** : LMS, VSSNLMS, LabVIEW, Real-time

### ABSTRACT

In this paper, we proposed an algorithm for adaptive noise cancellation (ANC) using the variable step size normalized least mean square (VSSNLMS) in real-time automobile environment. As a basic algorithm for ANC, the LMS algorithm has been used for its simplicity. However, the LMS algorithm has problems of both convergence speed and estimation accuracy in real-time environment. In order to solve these problems, the VSSLMS algorithm for ANC is considered in nonstationary environment. By computer simulation using real-time data acquisition system(USB 6009), VSSNLMS algorithm turns out to be more effective than the LMS algorithm in both convergence speed and estimation accuracy.

### 1. 서 론

소음은 주위 환경을 열악하게 만들어 사람에게 심리적인 스트레스를 주거나 작업 능률을 저하시키는 등 최근 산업의 발전에 따라 심각한 문제가 되고 있다. 특히 근대에 생활수준이 향상됨에 따라 쾌적한 환경에 대한 욕구가 늘어나고 있으며 소음공해에 대한 관심도 증가하고 있어 이에 대한 연구의 필요성이 커지고 있다.

잡음이 포함된 신호로부터 원하는 신호의 검출은 디지털 신호처리 분야에서 가장 일반적으로 접하는 문제이다. 이러한 경우 관측된 신호에 어떠한 처리를 하여 그 중에서 필요한 성분만 추출해 내어야 하는데, 이와 같은 처리를 필터링(filtering) 혹은 필터처리라 부른다. 그리고 이러한 처리를 이산적으로 수행하는 장치를 디지털필터(digital filter)라 한다<sup>[1]</sup>.

신호와 잡음이 서로 다른 주파수 대역에 존재하는 경우 대역 통과 필터를 사용함으로써 잡음을 대

\* 본 연구는 2007학년도 대구대학교 학술연구비(BK 사업) 지원으로 수행되었습니다.

\* 대구대학교 통신공학과(cwlee@daegu.ac.kr) (° : 교신저자)

논문번호 : KICS2007-08-383, 접수일자 : 2007년 8월 27일, 최종논문접수일자 : 2008년 4월 16일

부분 효율적으로 제거시킬 수 있으므로 원 신호를 쉽게 찾아 낼 수 있다. 그러나 실제로 발생하는 대부분의 잡음 신호는 넓은 주파수 범위에 걸쳐 존재할 뿐만 아니라 시간에 따라 잡음의 성분이 변하는 특성을 갖고 있다. 따라서 입력신호의 사전정보를 모르는 경우 혹은 주위환경의 변화에 따라 통계적 성질이 변화하는 경우에는 신호처리 하는 과정에서 시스템을 어떠한 기준 아래에서 최적이 되도록 축차 수정해 주는 기능을 갖춘 적응필터(adaptive filter)가 요구되고 있다<sup>[1][2]</sup>.

적응 신호처리는 적응 알고리즘에 따라 필터의 계수를 수정하여 시스템 스스로 최적의 상태에 이르도록 하는 기술로써 현재 여러 가지 분야에 적용되고 있다. 적응 신호처리 분야에서 steepest descent 방식인 LMS(Least Mean Square) 알고리즘은 그 식이 간단하고 적은 계산으로 소기의 목적을 달성할 수 있어서 지금도 널리 사용되고 있다<sup>[1][3]</sup>. 그러나 LMS 알고리즘은 수렴속도를 높이면 주위 환경이 급격하게 변하는 경우 발산하게 되고, 안정성을 높이면 수렴속도가 떨어지는 수렴속도와 안정성 사이에 trade-off가 발생한다. 이러한 LMS 알고리즘의 단점을 개선하기 위해 NLMS(Normalized LMS) 알고리즘, VSS LMS(Variable Step Size LMS)<sup>[6]-[10]</sup> 알고리즘 등이 개발되었다.

본 논문에서는 현대 생활에서 가장 쉽게 접할 수 있는 자동차 환경과 같은 주위 환경이 변화하는 환경에서 기존의 알고리즘 보다 성능이 우수한 새로운 알고리즘을 제안하고자 한다. 제안하는 알고리즘은 adjusted step size NLMS 알고리즘으로 효율적으로 잡음을 제거하기 위해 적응 잡음 제거기의 출력단과 적응 필터 출력단의 신호 대 잡음비를 비교하여 적응 상수를 조절하는 알고리즘이다. 성능 분석을 위해 제안한 알고리즘을 적응 잡음 제거기(Adaptive Noise Canceler)에 적용하여 자동차 내에서 실시간으로 데이터를 획득하고 시뮬레이션 하는 환경을 구축하여 실시간 환경에서도 제안한 알고리즘의 성능이 우수함을 입증하였다.

## II. 적응 알고리즘

### 2.1 적응알고리즘

적응필터에서 두 입력신호  $x_k, d_k$ 는 각각 reference input과 desired signal로 표현하며 적응필터에서 가장 일반적으로 사용하고 간단한 알고리즘이 LMS 알고리즘이다<sup>[2][5]</sup>.

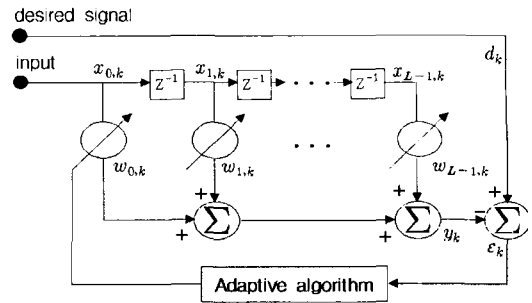


그림 1. FIR 적응필터의 구조

시점  $k$ 에서  $L \times 1$  입력샘플 벡터와 필터계수 벡터를 각각  $X_k, W_k$ 로 표현하며  $L$ 은 필터계수의 전체 수를 나타낸다.

$$X_k = [x_{0,k}, x_{1,k}, x_{2,k}, \dots, x_{L-1,k}]^T \quad (1)$$

$$W_k = [w_{0,k}, w_{1,k}, w_{2,k}, \dots, w_{L-1,k}]^T \quad (2)$$

그림 1은 일반적인 시간영역에서의 FIR 적응필터의 구조를 나타내는데 샘플링 시간마다 입력신호는 시프트 레지스터로 입력되고 각 레지스터의 data는 필터 계수와 곱해서 덧셈기를 거쳐 출력된다. 식(3)은 출력신호  $y_k$ 의 계산식이다.

$$y_k = X_k^T W_k = W_k^T X_k \quad (3)$$

시점  $k$ 에서 희망신호와 필터 출력신호의 오차  $\epsilon_k$ 는 다음과 같이 주어진다. 여기서 입력 신호와 기준 신호가 정적 과정(stationary)이라고 가정한다.

$$\begin{aligned} \epsilon_k &= d_k - y_k = d_k - X_k^T W_k \\ &= d_k - W_k^T X_k \end{aligned} \quad (4)$$

알고리즘의 성능을 평가하는 기준으로 사용되는 평균자승오차(Mean Square Error : MSE)는 식 (4)에서 양변을 제곱하여 평균을 취하여 다음과 같이 나타낸다.

$$MSE = E[d_k^2] + W_k^T E[X_k X_k^T] W_k - 2E[d_k X_k^T] W_k \quad (5)$$

위에서 입력 신호의 자기 상관(auto correlation)행렬은

$$R = E[X_k X_k^T] \quad (6)$$

으로 정의되고 입력 신호와 기준 신호 사이의 상호 상관(cross correlation)벡터는

$$P = E[d_k X_k] \quad (7)$$

식 (5)으로부터 평균지승오차는 필터 계수 제곱의 함수임을 알 수 있다. 다시 말해서 MSE는 2차 곡면의 모양을 가지며 적응 필터는 계속해서 그 곡면의 최소점을 찾아감으로써 필터 계수를 조정해 나간다<sup>[2],[5]</sup>.

Steepest descent 방법은 성능 곡면의 최소점을 찾는데 있어서 성능 곡면의 기울기(gradient)를 사용한다. 성능 곡면 위에 있는 어떤 임의의 점에서의 기울기는 계수에 대해서 식 (5)의 MSE 함수를 미분함으로써 얻을 수 있다.  $W$ 에 대한 기울기 벡터는

$$\begin{aligned} \frac{\partial E[\epsilon_k^2]}{\partial W} &= \nabla \xi(n) = -2E[\epsilon_k X_k] \\ &= -2P + 2RW \end{aligned} \quad (8)$$

이고 최적의 필터 계수 벡터  $W^*$ 를 얻기 위해 기울기를 영으로 놓으면 행렬식의 형태로 다음의 Wiener-Hopf 식을 얻을 수 있다.

$$W^* = R^{-1}P \quad (9)$$

$$\xi_{\min} = E[d_k^2] - P^T W^* \quad (10)$$

MSE는 2차 곡면이므로 필터계수에 대한 도함수를 '0'으로 두어서 MSE의 최소값을 구하면 최적 필터계수를 구할 수 있다. 그러나 일반적으로 연산에 필요한 상관행렬  $R$ 과 시점  $k$ 에서의 곡면의 기울기를 정확히 알아내기가 쉽지 않으므로 시점  $k$ 마다 기울기의 추정된 값을 이용하여 반복 계산을 수행한다.

$$\widehat{\nabla}_k = \begin{bmatrix} \frac{\partial \epsilon_k^2}{\partial w_0} \\ \vdots \\ \frac{\partial \epsilon_k^2}{\partial w_{L-1}} \end{bmatrix} = 2\epsilon_k \begin{bmatrix} \frac{\partial \epsilon_k}{\partial w_0} \\ \vdots \\ \frac{\partial \epsilon_k}{\partial w_{L-1}} \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} &= -2\epsilon_k X_k \\ W_{k+1} &= W_k - 2\mu \epsilon_k X_k \end{aligned} \quad (12)$$

### III. Adjusted step size NLMS 알고리즘

그림 2는 제안하는 알고리즘인 adjusted step size NLMS 알고리즘을 적용한 적응 잡음 제거기의 구

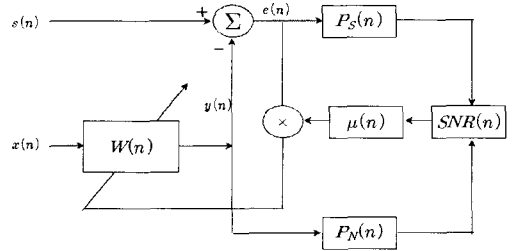


그림 2. 제안하는 Adaptive Noise Canceller

조를 나타내고 있다.  $y(n)$ 은 적응 필터의 출력으로  $s(n)$ 에 섞여있는 잡음성분을 유사하게 출력하고  $e(n)$ 은 잡음이 제거된 음성신호를 출력한다. 제안하는 알고리즘은 시스템의 안정성을 확보하기 위해 NLMS 알고리즘에 바탕을 두고 있으며, 알고리즘의 반복마다  $y(n)$ 과  $e(n)$ 의 순서 파워를 이용하여 신호 대 잡음비(SNR)를 측정하여 스텝 사이즈 값을 적절하게 조절하여 수렴율과 misadjustment를 줄인 알고리즘이다. 기존의 가변 스텝 사이즈 알고리즘은 오차신호  $e(n)$ 의 값에 따라 스텝 사이즈를 조절하였으나 제안하는 알고리즘은 오차신호  $e(n)$ 과 필터의 출력  $y(n)$ 의 특성 즉, 원하는 음성신호와 잡음신호의 SNR을 이용하여 스텝 사이즈를 조절하므로 음성 신호와 주변 환경의 급작스런 변화에도 시스템이 안정적이면서 수렴속도가 빠르게 되고 misadjustment도 줄이게 된다.

신호 대 잡음비가 큰 경우는 잡음성분이 작다는 의미이기 때문에 스텝사이즈를 작게 하여 misadjustment를 줄이고 반대로 신호 대 잡음비가 작을 경우는 잡음성분이 크다는 의미이기 때문에 스텝사이즈를 크게 하여 수렴율을 향상시켰다.

제안하는 적응 잡음제거기의 시스템의 관계식은 다음과 같이 표현된다.

$$y(n) = W^T(n)X(n) \quad (13)$$

$$e(n) = s(n) - y(n) \quad (14)$$

$$W(n) = [w_0(n) \ w_1(n) \ \dots \ w_{N-1}(n)]^T \quad (15)$$

$$X(n) = [x(n) \ x(n-1) \ \dots \ x(n-N+1)]^T \quad (16)$$

$$W(n+1) = W(n) + \frac{\mu}{X^T(n)X(n)} e(n)X(n) \quad (17)$$

신호 대 잡음비는 다음 수식으로 구하여지며  $M$ 은 샘플 개수를 나타낸다.

$$P_S(n) = \sum_{j=0}^{M-1} [s(n-j) - y(n-j)]^2 \quad (18)$$

$$= \sum_{j=0}^{M-1} e^2(n-j)$$

$$P_V(n) = \sum_{j=0}^{M-1} y^2(n-j) \quad (19)$$

$$SNR(n) = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{P_S(n)}{P_V(n)} \right) dB \quad (20)$$

스텝 사이즈는 다음 조건에 의해 조절된다.

$$\mu = \begin{cases} \mu_{min} & \text{if } SNR(n) > SNR_{max} \\ \mu_{max} & \text{if } SNR(n) < SNR_{min} \\ f(x) & \text{if } SNR_{min} \leq SNR(n) \leq SNR_{max} \end{cases}$$

$$(f(x) = a \cdot SNR(n) + b) \quad (21)$$

$$a = \frac{\mu_{min} - \mu_{max}}{SNR_{max} - SNR_{min}} \quad (22)$$

$$b = \mu_{min} - (a \cdot SNR_{max}) \quad (23)$$

$SNR(n)$ 이 초기에 설정한  $SNR_{max}$  값 보다 클 경우  $\mu$  값을 작게 설정하고,  $SNR(n)$ 이 초기에 설정한  $SNR_{min}$  값 보다 작을 경우  $\mu$  값 크게 설정하여 수렴 속도를 빠르게 한다. 또한  $SNR(n)$ 이  $SNR_{max}$  와  $SNR_{min}$  사이에 존재할 경우  $a \cdot SNR(n) + b$ 의 수식에 의해  $\mu_{max}$  와  $\mu_{min}$  사이의 값으로 조절된다.  $\mu_{max}$  값은 NLMS 알고리즘의 발산하지 않는 최대의 값으로 설정하며  $\mu_{min}$  값은 적당한 수렴율을 가지면서 misadjustment가 작은 값으로 설정한다.

표 1은 LMS 알고리즘과 제안하는 알고리즘의 계산량을 비교한 것이다. 제안하는 알고리즘은 적응 필터의 출력  $y(n)$ 을 계산하기 위해 필터 차수 만큼인  $N$ 번, 정규화 과정에서  $N+1$ 번,  $SNR$  계산 과정에서  $2N+2$ 번, 스텝사이즈를 곱해주는 과정에서 1번, 그리고 스칼라와 벡터곱셈( $\mu e(n) \times X(n)$ ) 과정에서  $N$ 번 총  $5N+4$ 번의 곱셈이 필요하다.

표 1. LMS와 Adjusted step size NLMS 알고리즘의 계산량 비교

	LMS	Adjusted step size NLMS
곱셈	2N+1	5N+4
덧셈	2N	5N-3

## IV. 자동차 환경에서의 실시간 시뮬레이션

### 4.1 프로그램 블록 다이어그램

본 논문에서는 자동차 내에서 실시간 시뮬레이션을 하기 위해 LabVIEW 프로그램을 사용하였다. LabVIEW 프로그램은 그래픽 기반의 프로그래밍 언어로써 여러 가지 응용 분야에서 시스템을 제어하고 데이터를 획득, 프로세싱, 디스플레이 하는데 사용된다. 특히 데이터 수집 장비를 연결하면 실시간으로 데이터를 수집하고 프로세싱이 가능하기 때문에 자동차 내에서의 실시간 시뮬레이션에 적합한 프로그램이다.

그림 3-4는 실시간 시뮬레이션을 위한 각 알고리즘의 LabVIEW 프로그램 블록도이다.

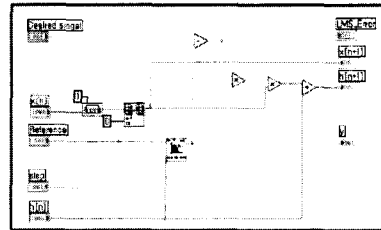


그림 3. LMS sub VI

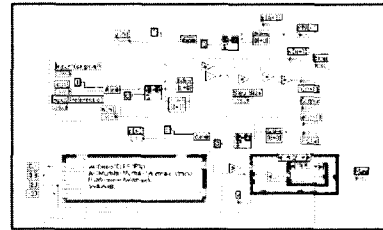


그림 4. Adjusted step size NLMS sub VI

### 4.2 시뮬레이션 환경 및 결과

그림 5는 자동차 내에서 원 신호와 잡음을 획득하기 위한 마이크의 위치를 나타내고 있다. 자동차

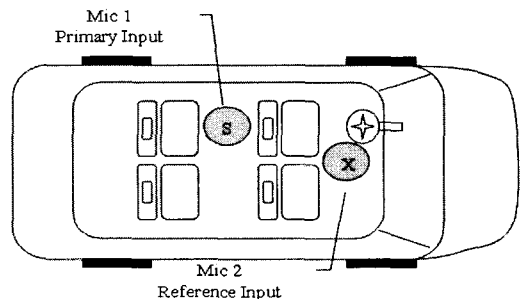


그림 5. 자동차 내에서의 데이터 획득을 위한 마이크 위치

내의 잡음은 엔진 잡음에 가장 큰 영향을 받기 때문에 엔진에 가장 가까운 앞쪽에 잡음을 수집하는 마이크를 위치시키고, 뒤쪽에는 원 신호를 획득하는 마이크를 위치시켜 직접 말하는 음성신호를 수집하였다. 실시간 시뮬레이션을 위한 데이터 수집 장치는 National Instrument USB-6009를 이용하였으며, LabVIEW 프로그램으로 각 알고리즘의 시뮬레이션 결과를 얻었다. 여러 개의 알고리즘을 동시에 시뮬레이션 할 경우 컴퓨터에 과부하가 걸리기 때문에 시뮬레이션은 두 가지 알고리즘을 두 번에 걸쳐 시뮬레이션 하였다.

그림 6과 그림 7는 제안하는 알고리즘과 LMS 알고리즘을 비교하기 위한 자동차 내에서 획득한 음성 신호와 잡음이 섞인 신호를 나타내고 있다. 그림 8~9는 LMS 알고리즘의 필터 출력과 squared error 신호를 보여주고 있고, 그림 10~12은 제안하는 알고리즘의 필터 출력과 squared error 신호, 스텝사이즈의 변화를 보여주고 있다.

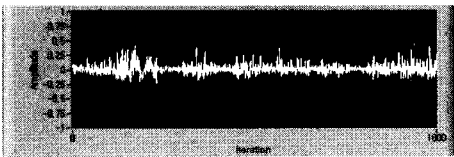


그림 6. 자동차 내에서 획득한 음성 신호



그림 7. 자동차 내에서 획득한 잡음이 섞인 신호



그림 8. LMS 알고리즘 출력

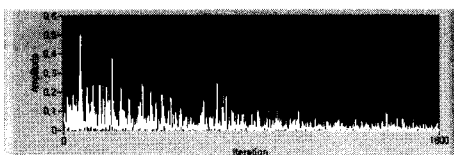


그림 9. LMS 알고리즘 squared error

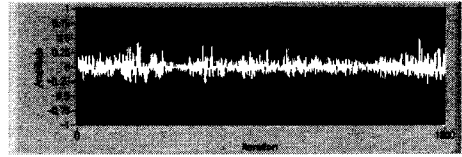


그림 10. Adjusted step size NLMS 알고리즘 출력

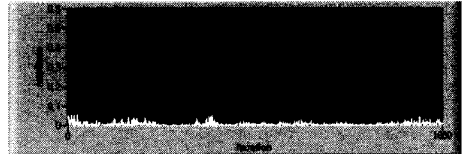


그림 11. Adjusted step size NLMS 알고리즘 squared error

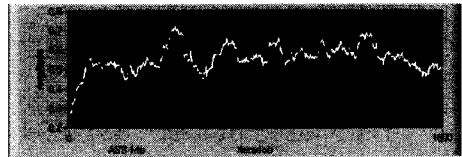


그림 12. Adjusted step size NLMS 알고리즘 스텝사이즈 변화

그림 13~14는 제안하는 알고리즘과 VSS LMS 알고리즘을 비교하기 위해 자동차 내에서 획득한 음성 신호와 잡음이 섞인 신호를 나타내고 있다. 그림 15~7는 VSS LMS 알고리즘의 필터 출력과 squared error 신호, 스텝사이즈의 변화를 보여주고 있고, 그림 18~20는 제안하는 알고리즘의 필터 출력과 squared error 신호, 스텝사이즈의 변화를 보여 주고 있다.

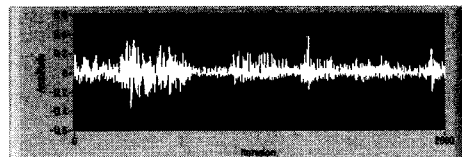


그림 13. 자동차 내에서 획득한 음성 신호

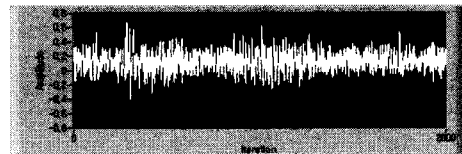


그림 14. 자동차 내에서 획득한 잡음이 섞인 신호

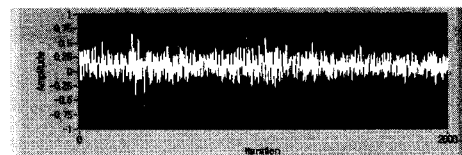


그림 15. Variable step size LMS 알고리즘 출력

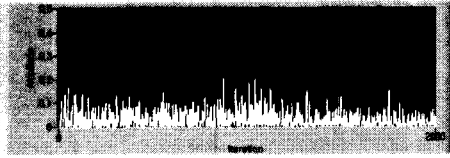


그림 16. Variable step size LMS 알고리즘 squared error

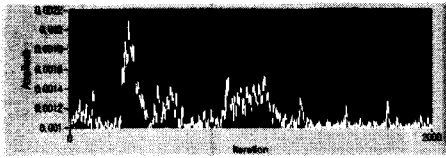


그림 17. Variable step size LMS 알고리즘 스텝사이즈 변화

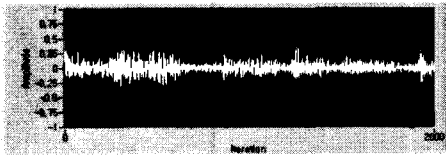


그림 18. Adjusted step size NLMS 알고리즘 출력



그림 19. Adjusted step size NLMS 알고리즘 squared error

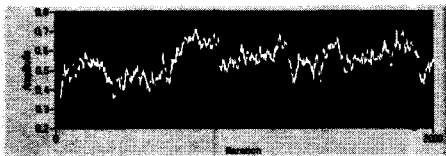


그림 20. Adjusted step size NLMS 알고리즘 스텝사이즈 변화

## V. 결 론

일반적으로 적응 신호처리 연구는 시뮬레이션 환경을 설정할 때 시간에 따라 주위의 특성이 급격이 변하지 않는다는 가정 하에 적응신호처리 알고리즘을 적용하였다. 그러나 실제 우리가 접하는 환경은 시간에 따라 급격히 변화하는 경우가 자주 있다. 이러한 경우 시스템이 발산하거나 수렴속도가 저하되는 문제점이 발생한다.

본 논문에서는 주변 환경이 시간에 따라 변하는 경우에도 적응잡음제거기의 출력단과 적응필터 출력단의 SNR을 비교함으로써 시스템이 안정적이고 효율적으로 잡음을 제거할 수 있는 adjusted step size NLMS 알고리즘을 제안하였고, LabVIEW 프로그램

으로 자동차 내에서 실시간으로 시뮬레이션 하는 환경을 구축하여 그 결과를 알아보았다.

실시간 시뮬레이션에서 VSS LMS 알고리즘은 스텝사이즈 변화폭이 작아 변화하는 환경에 빠르게 적응하지 못하고 잡음도 완벽하게 제거하지 못하였지만 제안하는 알고리즘은 환경에 적절하게 적응하여 잡음을 잘 제거하는 것을 확인할 수 있었다. 한편 제안하는 알고리즘의 계산량은 기존의 알고리즘 보다 다소 증가하였으나 환경이 변하는 몇 가지 시뮬레이션을 통해 알아본 결과 그 성능은 다른 알고리즘에 비해 우수함을 알 수 있었다.

본 논문에서 제안한 adjusted step size NLMS 알고리즘은 차후 자동차 환경과 유사한 주변 환경의 변화가 심한 다양한 분야에 응용될 수 있을 것으로 기대된다. 향후 제안하는 알고리즘의 계산량을 줄이기 위한 연구가 계속되어야 할 것이며, 실제 DSP칩을 이용하여 하드웨어로 구현하고자 한다.

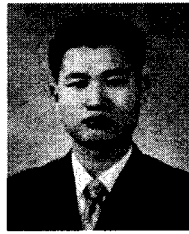
## 참 고 문 헌

- [1] Bernard Widrow and Samuel D. Stearns, Adaptive Signal Processing, Prentice Hall, 1985.
- [2] S. Haykin, Adaptive Filter Theory, Prentice Hall, 2000.
- [3] S. Haykin, Adaptive Filter Theory, Englewood Cliffs, NJ:Prentice Hall, 1996.
- [4] V. J. Mathews and Z. Xie, A stochastic gradient adaptive filter with gradient adaptive step size, IEEE Transactions on Signal Processing, Vol.41, No.6. pp. 2075-2087, Jun 1993.
- [5] A. Kanemasa and K. Niwa, An adaptive-step sign algorithm for fast convergence of a data echo canceller, IEEE Transactions on Communications, Vol.COM-35, No.10, pp. 1102-1 106, Oct. 1987.
- [6] R. H. Kwong and E. W. Johnston, A Variable Step Size LMS Algorithm, IEEE Transactions on Signal Processing, Vol.40, No.7, pp.1633-1642, Jul. 1992.
- [7] Yonggang Zhang, J.A Chambers, Wenwu Wang, P.Kendrick and T.J. Cox, "A New Variable Step-size LMS algorithm with Robustness to Nonstationary Noise, ICASSP2007, Vol.3, pp.1349-1352, Apr. 2007.

- [8] Y.Zhang, N. Li, and J.A. Chambers, NEW GRADIENT BASED VARIABLE STEP-SIZE LMS ALGORITHM, Signal Processing, The 8th International Conference on, Vol.1, pp.259-264, Oct. 2003.
- [9] M.S.E. Abadi and J,H, Husoy, Variable Step-Size Pradhan-Reddy Subband Adaptive Filters, Information, Communications and Signal Processing, 2005 Fifth International Conference on, pp.909-912, Dec. 2005.
- [10] S. Koike, A class of adaptive step-size control algorithms for adaptive filters, IEEE Transactions on Signal Processing, Vol.50, pp. 13 15- 1326, Jun 2002.

이 재 균 (Jae-Kyun Lee)

준회원



2004년 2월 대구대학교 정보통신공학부 통신공학과 학사  
2006년 2월 대구대학교 정보통신공학과 석사  
2006년 3월~현재 대구대학교 정보통신공학과 박사 과정  
<관심분야> 디지털신호처리, 이차원바코드, ANC

박 재 훈 (Jae-Hoon Park)

준회원



2005년 2월 대구대학교 정보통신공학부 통신공학과 학사  
2007년 2월 대구대학교 정보통신공학과 석사

이 채 욱 (Chae-Wook Lee)

정회원



1980년 2월 한국항공대학교 통신공학과 학사  
1987년 2월 동경공업대학 전기전자공학과 석사  
1990년 2월 동경공업대학 전기전자공학과 박사  
1990년 3월~현재 대구대학교 정보통신공학부 교수

<관심분야> 디지털신호처리, 광통신공학, ANC