

# 실시간 소음 제거에 적합한 변형 IGC 알고리즘에 관한 연구

## A Study on Modified IGC Algorithm for Realtime Noise Reduction

이채욱\*

Chae-wook Lee\*

### 요약

LMS(Least Mean Square)알고리즘은 강인성, 높은 추적성, 구현의 단순성 때문에 아직도 많이 사용되는 알고리즘이다. 하지만, LMS알고리즘은 비균일적인 수렴율과 EMSE(Excess mean square error)사이 trade-off를 가진다. 이러한 단점을 극복하기 위해, 많은 가변 스텝 사이즈 알고리즘이 연구되고 있다. 빠른 수렴속도를 위하여 복잡한 가변스텝 방식을 사용 하는데 많은 계산량을 필요로 한다. IGC(Instantaneous Gain Control) 알고리즘은 원신호와 잡음신호의 순시이득값을 사용하여 계산량은 줄이고 높은 성능을 유지한다. 하지만 IGC 알고리즘은 이득값 계산시 log함수에 의해 실행시간이 오래 걸리는 단점을 가진다. 제안하는 변형 IGC알고리즘은 실행시간을 지연하는 log 함수를 제거하여, 실시간 소음제거 처리에 맞게 변형하여 성능 개선을 이룰 수 있었다.

### ABSTRACT

The LMS(Least Mean Square) algorithm, one of the most famous, is generally used because of tenacity and high mating spots and simplicity of realization, But it has trade-off between nonuniform collection and EMSE(Excess mean square error). To overcome this weakness, a variable step size is used widely, but it needs a lot of calculation loads. In this paper, we suggest changed algorithm in case of environment changes of cars and reduce amount of calculation as it uses original signal and noise signal of IGC(Instantaneous Gain Control) algorithm. In this paper, logarithmic function is removed because of real-time processing IGC. The performance of proposed algorithm is tested to adaptive noise canceller in automobile.

**Keywords:** LMS, IGC, EMSE, Automobile

## I. 서론

인간은 각자의 현재 상태라든가 주위 환경에 따라서 어떠한 소리든 소음으로 받아들일 수 있다. 소음이란 시끄러워서 불편함을 느끼게 만드는 소리를 말하며 이러한 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 필요성 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.

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

적응 신호처리 분야에서 steepest descent 방식인 LMS(Least Mean Square) 알고리즘은 그 식이 간단하고

\* 대구대학교 정보통신공학부

투고 일자 : 2013. 3. 25 수정완료일자 : 2013. 4. 29

게재확정일자 : 2013. 4. 30

적은 계산으로 소기의 목적을 달성할 수 있어서 지금도 널리 사용되고 있다[1]-[3]. 그러나 LMS 알고리즘은 수렴속도를 높이기 되면 주위 환경이 급격하게 변하는 경우 발산하게 되고, 안정성을 높이기 되면 수렴속도가 떨어지는 수렴속도와 안정성 사이에 trade-off가 발생한다. 이러한 LMS 알고리즘의 단점을 개선하기 위해 NLMS(Normalized LMS) 알고리즘, VSS LMS(Variable Step Size LMS) 알고리즘 등이 개발되었다[4]-[5].

본 논문에서는 LMS알고리즘과 VSS알고리즘[5], IGC알고리즘[6]과 변형 IGC알고리즘을 비교 분석하여, 변형 IGC알고리즘이 우수함을 입증하였다.

## II. IGC 알고리즘

### 1. 기존의 IGC 알고리즘

그림 1은 IGC(Instantaneous Gain Control)알고리즘을 적용한 적응 잡음 제거기의 구조를 나타내고 있다.  $y(n)$ 은 적응 필터의 출력으로  $s(n)$ 에 섞여있는 잡음성분을 유사하게 출력하고  $e(n)$ 은 잡음이 제거된 음성신호를 출력한다. 알고리즘의 반복마다  $y(n)$ 과  $e(n)$ 의 순시 파워를 이용하여 이득 측정하여 스텝 사이즈 값을 적절하게 조절하여 수렴율과 오조정(misadjustment)을 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 이득을 이용하여 스텝 사이즈를 조절하므로 음성 신호와 주변 환경의 급작스런 변화에도 시스템이 안정적이면서 수렴속도가 빠르게 되고 오조정도 줄이게 된다.

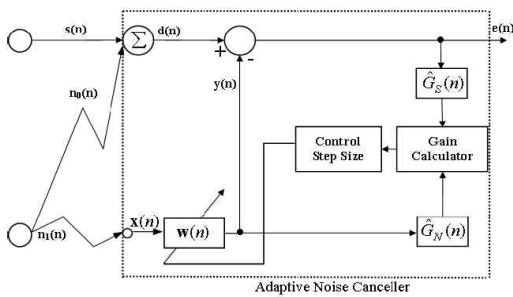


그림 1. IGC 알고리즘  
Fig. 1. IGC algorithm

Gain Calculator는 아래와 같은 수식으로 구해진다.

$$G.C(n) = 10\log\left(\frac{\widehat{G}_S(n)}{\widehat{G}_N(n)}\right)dB \quad (1)$$

$$\widehat{G}_S(n) = (\widehat{d}^2(n) - \widehat{y}^2(n)) = \widehat{e}^2(n) \quad (2)$$

$$\widehat{G}_N(n) = \widehat{y}^2(n) \quad (3)$$

스텝사이즈 업데이트는 수식 (4)이다.

$$\mu_{GC} = \begin{cases} \mu_{GCmin} & G.C_{max} < G.C(n) \\ \alpha G.C(n) + \beta & G.C_{min} < G.C(n) \leq G.C_{max} \\ \mu_{GCmax} & G.C(n) < G.C_{min} \end{cases} \quad (4)$$

$\alpha = (\mu_{GCmin} - \mu_{GCmax}) / (G.C_{max} - G.C_{min})$  이고,  $\beta = \mu_{GCmin} - (\alpha G.C_{max})$ 이다.

### 2. 계산량

기존의 IGC알고리즘을 구현하기 위해서는  $2L+5$ 의 곱셈이 필요하며,  $2L$ 개의 덧셈이 필요하다. 여기서  $L$ 은 적응 필터의 차수이다. 표 1은 각 알고리즘의 계산량을 비교한 표이다.

표 1. 알고리즘별 계산량

Table 1. comparison of computations of each algorithm

	LMS	VSS	IGC
곱셈	2L+1	2L+4	2L+5
덧셈	2L	2L+1	2L

### 3. 제안하는 변형 IGC 알고리즘

기존의 IGC 알고리즘이 계산량은 적으나 실행시간이 오래 걸리는 형상을 가지고 있다. 실행 시간을 지연 하는 문제점 부분이 수식 (1)이다. Gain Calculator에서 log값에 의해 실행시간을 지연시킨다.

다음과 같이 변형 IGC 알고리즘을 제안한다.

$$G.C(n) = \left(\frac{\widehat{G}_S(n)}{\widehat{G}_N(n)}\right)dB \quad (5)$$

기존의 IGC 알고리즘의 수식(1)에서 log만 제거하였다. 수식(1)에서  $G.C(n)$ 의 값의 범위가 -10dB에서 -60dB로 이루어져 있었지만, 변형 IGC 알고리즘에서는 log를 제거하여 0.1에서 0.000001으로 변경되었다. 이 수치는 log의 특성을 이용하여 간단한 수식으로 풀이가 된다. 아래의 그림은 같은 조건에서 실행한 기존과 변형 IGC알고리즘을 실행하여 제곱오차신호를 그래프로 표현한 것으로 차이가 없다는 것을 알 수 있다.

### 4. 실행시간

기존 IGC알고리즘과 변형 IGC알고리즘의 실행시간을 비교하였다. 표 1은 전체 실행 시간에 대하여 반복횟수로 나누어 각 시뮬레이션에 대한 실행 시간을 비교한 표이다. 변형 IGC알고리즘이 기존 IGC알고리즘보다 약 2배 이상의 빠른 실행 속도를 가지는 것을 알 수 있다.

표 2. 실행 시간  
Table 2. Running time

Running time		
iteration	기존 IGC	변형 IGC
100	1.0647	0.4474

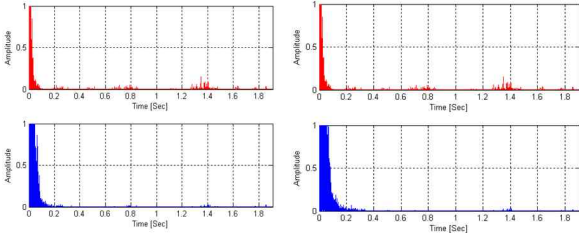


그림 2. 기존 IGC와 변형 IGC의 제곱오차신호  
Fig.2. Square error signals of IGC and proposed IGC

### III. 실험

본 논문의 시뮬레이션 환경은 LabVIEW에서 실행 하였으며 그림3은 Real-Time ANC Hardware 구조를 나타낸다.

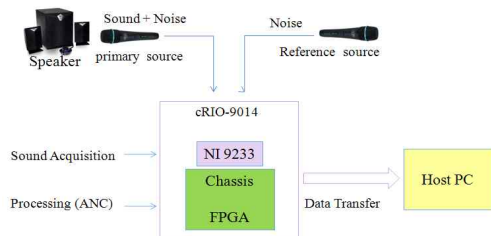


그림 3. 시뮬레이션 구조  
Fig. 3. Structure of simulation

본 논문의 시스템은 Host PC, cRIO-9014 real-time controller, NI 9233 아날로그 입력 모듈로 구성된다. primary source로부터 원 신호와 잡음이 섞인 신호를, reference source로부터 잡음 신호를 NI 9233 모듈을 통해 입력 받아, cRIO-9014의 FPGA를 통해 LMS, VSSLMS, IGCLMS 알고리즘을 LabVIEW FPGA로 구현하여, 그 결과를 Host PC로 DMA FIFO를 통해 전송하고, 그 전송된 데이터를 실시간 출력한다. 각 알고리즘의 desired signal, reference signal, ANC out signal은 24bit로 구현하였으며, 그 중 4bit는 정수이다. step size는 16bit로 구현하였다.

FPGA VI는 NI 9233으로부터 데이터를 입력받아 알고리즘을 수행하기 순차적으로 실행되게 플랫폼 시퀀스 구조로 이루어져 있다. 플랜 시퀀스 구조는 현재 단계가 끝나면 다음 단계로 넘어가는 구조로 순차적인 실행을 할 때 쓰는 구조이다. 먼저, NI 9233으로 데이터를 획득하기 위해 Date Rate를 설정한다. Date Rate은 2kS/s에서 NI 9233이 지원하는 최대 샘플 속도인 50kS/s까지 사용자가 선택 할 수 있도록 한 후, FPGA의 인터럽트 라인에서 인터럽트를 요청하고, host로부터 ack신호가 올 때 까지 기다린다. Host로부터 ack신호가 오면 NI 9233이 데이터를 획득 시작하고

채널 당 획득 할 샘플 수를 설정한다. NI 9233은 4개의 채널까지 데이터를 획득 할 수 있으나, 본 논문에서는 ch0, ch1만 사용한다. 2채널의 데이터를 인터리빙을 통해 알고리즘의 출력을 배열 화하여 DMA FIFO에 저장하면, Host에서 주기적으로 데이터를 읽어 각각의 알고리즘으로 처리하는 방식이다.

아래의 그림4는 본 논문에서 사용한 음성 신호와 잡음 신호이다. 음성 신호는 잡음이 없는 깨끗한 신호를 이용하였고 잡음신호는 마이크를 통하여 자동차의 소음을 직접 받아들었다. 시동이 걸린 상태에서 엔진소리와 크랙션 소리가 합쳐진 소음을 사용하였다.

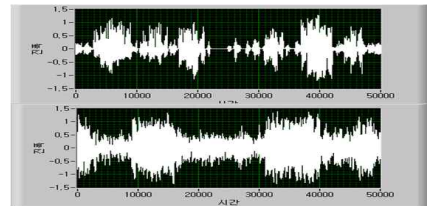


그림 4. 음성신호 및 잡음 신호  
Fig. 4. speech signal and noise signal

아래의 그림은 LMS Algorithm을 LabVIEW로 표현 하고 필터를 거쳐 출력된 음성신호에 대한 그림이다. 오리지널 신호와 비교했을 때, 큰 형태는 남아 있으나 잡음의 크랙션 쪽의 갑작스런 변화에 대한 제거 능력이 떨어지는 것을 확인 할 수가 있다.

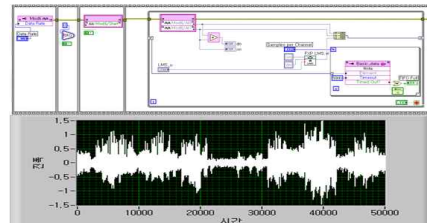


그림 5. LMS 알고리즘  
Fig. 5. LMS Algorithm

그림 6은 VSSLMS Algorithm을 LabVIEW로 표현 하고 필터를 출력 하고 나온 음성신호에 대한 그림이다. 위의 LMS와 비교 했을 때, 잡음 제거률에서 뛰어난 성능을 보이나 오리지널 신호와 비교 했을 때보다 잡음이 많이 남아있다.

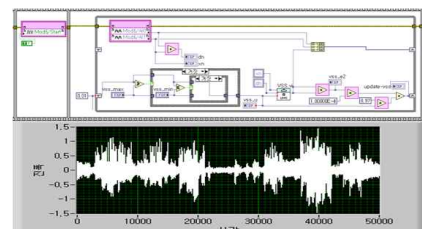


그림 6. VSSLMS 알고리즘  
Fig. 6. VSSLMS Algorithm

그림 7은 변형 IGC 알고리즘으로 다른 알고리즘 보다 필터 출력 신호가 위의 알고리즘 보다 오리지널신호에 가까운 것을 확인 할 수가 있다.

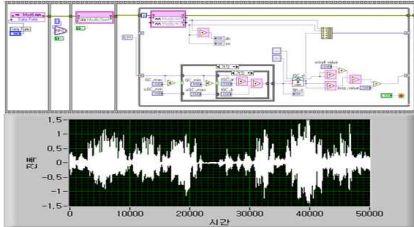


그림 7. 변형 IGC 알고리즘

Fig. 7. proposed IGC algorithm

출력 파형을 수치적으로 비교하기 위하여 잔여파위를 이용 하였다. 잔여파위는 다음과 같이 정의된다.

$$RP = 10 \log \left( \frac{\sum_{j=0}^{N-1} (e(j) - s(j))^2}{\sum_{j=0}^{N-1} s(j)^2} \right) dB \quad (6)$$

여기서 N은 반복횟수, P는 알고리즘이 정상상태 (steady-state)에 도달 후의 샘플 수이다. RP는 원 신호와 에러 신호 제곱의 비로, 그 단위는 dB이다.

표 2는 각 알고리즘의 잔여파위를 비교한 표이다. 표 2에서 알 수 있듯이, IGC알고리즘의 RP값은 더 적은 계산량으로 VSS알고리즘보다 약 1.4dB 좋고, LMS와 비교시 약 3.2dB 만큼 더 성능이 좋은 것을 알 수 있다.

표 3. 알고리즘별 계산량

Table 3. comparison of computations of each algorithm

ResidualPower(dB)		
LMS(dB)	VSS(dB)	IGC(dB)
7.0649	8.8518	10.2045

#### IV. 결론

본 논문에서는, 적은 계산량을 가지는 순시 이득 조절 가변 스텝사이즈 알고리즘을 변형시켜 기존의 성능은 유지하면서 실행시간을 단축시켜 실시간 소음제거에 맞게 변형하였다.

Matlab을 이용하여 변형 알고리즘이 성능면에서 기존 알고리즘과 변함이 없고, 실행시간을 약 2배 이상 단축되는 것을 확인하였다.

#### 참고 문헌

- [1] Boll, S. F. and D. C. Pulsipher, Suppression of acoustic noise in speech using two microphone adaptive noise cancellation, IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, vol.ASSP-28, no.6, 1980.
- [2] Kim, Dai I. and P. De Wild, Performance analysis of the DCT-LMS adaptive filtering algorithm, Signal Processing, vol.80, no.8, pp.1629-1654, 2000.
- [3] Widrow, B., et al., Adaptive noise canceling: principles and applications, Proc. IEEE, vol.63, pp.1692-1762, 1975.
- [4] R. H. Kwang and E. W. Johnston, A Variable Step Size LMS Algorithm, IEEE Trans. Signal Processing, vol.40, no.7, pp.1633-1642, 1992.
- [5] T. Aboulnasr and K. Mayyas, A Robust Variable Step-Size LMS-Type Algorithm: Analysis and Simulations, IEEE Trans. Signal Processing, vol.45, no.3, pp.631-639, 2007.
- [6] 이채욱, 김춘식, 실시간소음제거를 위한 IGC알고리즘의 Labview 구현, 한국통신학회, vol. 36, no. 3, pp.183-189, 2011.



이 채 욱(Chae-wook Lee)

正會員

한국항공대학 통신공학과 (공학사)

동경공업대학 전기전자공학과 (공학석사)

동경공업대학 전기전자공학과 (공학박사)

2011년 1월 현재 : 대구대학교 정보통신

공학부 교수

※주관심분야 : 디지털 신호처리, 광통신