

# 시스템 제너레이터 환경에서 순시 절대값을 이용한 가변스텝사이즈 적응알고리즘

(Variable Step Size Adaptive Algorithm using Instantaneous  
Absolute Value Based on System Generator)

이 채 옥<sup>1)\*</sup>, 류 정 탁<sup>2)</sup>

(Chae-Wook Lee and Jeong-Tak Ryu)

**요 약** LMS 알고리즘에서, 시간영역의 적응알고리즘은 입력신호의 고유치 분포 폭이 넓게 분포되면, 수렴속도가 느려지기 때문에 가변 스텝 사이즈가 많이 사용된다. 그러나 이 경우 많은 계산량이 필요하다. 본 논문에서는 시간영역의 적응 알고리즘을 변환영역에서 수행한다. 그리고 수렴성능 향상과 계산량을 줄이기 위하여 평균오차의 순시 절대 값을 exponential 함수에 적용한 새로운 알고리즘을 제안한다. 그리고 시스템 제너레이터를 이용하여 시뮬레이션 및 검증을 하였다. 그 결과 순시 절대 값에 비례하여 변화하는 가변 스텝사이즈의 적응알고리즘이 기존의 알고리즘과 비교하여 보다 안정되고 성능이 우수함을 입증하였다.

**핵심주제어** : LMS 알고리즘, system generator, 가변스텝사이즈 알고리즘, 적응잡음제거기

**Abstract** As the convergence speed of time domain adaptive algorithm on the LMS(Least Mean Square) becomes slow when eigen value distribution width is spread, So variable step size algorithm is used widely. But it needs a lot of calculation load. In this paper we consider new algorithm, which can reduce calculations and improve convergence speed, uses instantaneous absolute value of average noise signal adapting the exponential function. For the performance of proposed algorithm is tested and simulated to system generator. As the result we show the variable step size adaptive algorithm in proportion to instantaneous absolute value is more stable and efficient than others.

**Key Words** : LMS algorithm, system generator, variable step size algorithm, average error, instantaneous absolute value

## 1. 서 론

적응신호처리 분야에서 steepest descent 방식

인 LMS(Least Mean Square) 알고리즘은 식이 간단하고 계산량이 비교적 적기 때문에 널리 사용되고 있다[1,2,3]. LMS 알고리즘은 수렴속도와 수렴오차를 결정하는 핵심인자인 적응상수에 의해 수렴 상태가 결정된다. 적응상수가 작으면 수렴속도는 느리나 안정된 수렴을 하고, 적응상수가 크면 안정하지는 않지만 빠른 수렴을 하는 특성이 있다[2]. 그러나 LMS 알고리즘은 고정된 적응상수를 사용하므로 변화된 환경에는 잘 적응

\* Corresponding Author : cwlee@daegu.ac.kr

† 이 논문은 2015학년도 대구대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

Manuscript received May 03, 2016 / accepted June 14, 2016

1) 대구대학교 정보통신공학부, 교신저자

2) 대구대학교 전자전기공학부, 제2저자

하지 못하는 단점이 있다. 이 점을 보완하기 위한 가변 스텝사이즈 LMS (VSS LMS : Variable Step Size Least Mean Square) 알고리즘은 정해야 하는 파라미터의 수가 너무 많고, 원하는 수준의 성능을 얻기 위하여  $a, r, \mu_{\min}$ 의 값을 각 스텝에 따라 적절하게 정해야 하는 문제점이 있다[4].

이러한 단점을 보완하기 위하여 평균오차의 순시 절대 값을 exponential 함수에 적용하여 적응상수의 값을 변화시키는 가변스텝사이즈를 갖는 알고리즘을 제안하였다. 즉 적응신호처리 초기상태에서는 평균오차는 크고, 적응과정이 진행됨에 따라서 알고리즘이 수렴하여 평균오차는 점점 줄어들게 되므로 이에 비례하여 고정된 적응상수의 값을 변화시킨다.

본 논문에서는 제안한 알고리즘을 적응잡음 제거기에 적용, FPGA(Field Programmable Gate Array) 보드에서 Xilinx System Generator를 사용하여, 제안한 알고리즘을 하드웨어로 구현하여 그 성능을 입증하였다.

## 2. 가변 스텝사이즈를 갖는 적응 알고리즘

가변 스텝사이즈 LMS (VSS LMS) 알고리즘은 시간에 따라 적응상수의 크기를 가변시켜 수렴 초기에는 큰 적응상수로 빠른 수렴이 가능하도록 하고 점차 적응상수의 크기를 줄여서 misadjustment도 줄이는 방법으로 성능의 향상을 꾀한다[4,5,6]. VSS LMS 알고리즘은 아래의 식으로 요약할 수 있다.

$$\begin{aligned} \mu_{k+1} &= a\mu_k + re_k^2 \\ \text{where } 0 < a < 1, r > 0 \end{aligned}$$

$$\mu_{k+1} = \begin{cases} \mu_{\max} & \text{if } \mu_{k+1} > \mu_{\max} \\ \mu_{\min} & \text{if } \mu_{k+1} < \mu_{\min} \\ \mu_{k+1} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

적응상수  $\mu$ 의 초기 값은  $\mu_{\max}$  값을 사용하며, 원하는 수준의 성능을 얻기 위하여  $a, r, \mu_{\min}$ 의 값을 시스템에 따라 적절하게 정하게 된다. 식에서 볼 수 있듯이 VSS LMS 알고리즘은 오차신호의 제곱에 따라서  $\mu$ 의 값이 변화된다. 즉, 오차신호가 크면 적응상수의 크기를 늘려서 빠른 적응이 가능하게 하고, 오차신호가 작을 때에는 적응상수를 줄여서 안정성을 높인다. VSS LMS 알고리즘의 경우 LMS 알고리즘의 문제점을 상당부분 보완했지만, 정해줘야 할 파라미터의 수가 너무 많다는 단점이 있다. 최근에 적용되고 있는 가변스텝사이즈 대부분은 식(1)의 알고리즘을 개선한 것으로 각 파라미터의 최적 설정 및 입력신호에 대한 사전적인 통계를 바탕으로 최적 적응상수를 추정하는 알고리즘을 사용하고 있다 [7,8].

이외에도 가변스텝사이즈 알고리즘은 오차신호의 제곱 대신 오차의 기울기에 따른 수렴 상수를 변화를 주어 알고리즘을 적용하여 오차의 기울기가 클 때는 수렴이 진행 중인 상태로 보아  $\mu$ 를 크게 잡아 수렴을 빠르게 하고 기울기가 작을 때는 수렴이 최종 상태로 보아  $\mu$ 를 작게 하여 알고리즘이 안정성을 확보 하는 방식이 있다[9,10]. 그러나 오차의 기울기 변화에 따른 수렴 동작을 수행하므로 적응상수 값이 각 반복 수행마다 각 가중치에 대해 개별적으로 수렴인자 값을 가지므로 계산량이 많아지는 단점이 있다.

## 3. 제안 알고리즘

LMS 알고리즘은 고정된 적응상수를 사용하므로 변화된 환경에는 잘 적응하지 못하는 단점이 있다. 이 점을 보완하기 위한 VSS LMS 알고리즘은 정해야 하는 파라미터의 수가 너무 많고, 원하는 수준의 성능을 얻기 위하여  $a, r, \mu_{\min}$ 의 값을 시스템에 따라 적절하게 정해야 하는 문제점이 있다.

본 논문에서는 이러한 단점을 보완하기 위하여

평균오차의 순시 절대 값을 exponential 함수에 적용하여 적응상수의 값을 변화시키는 가변스텝 사이즈를 갖는 알고리즘을 제안한다. 여기서 순시치(instantaneous)라 함은 적응필터의 출력인 오차신호의 평균에 대한 절대값 대신 각각의 반복구간(iteration)마다의 오차신호의 절대값을 사용한다는 의미이다. 즉 적응신호처리 초기상태에서는 평균오차는 크고, 적응과정이 진행됨에 따라서 알고리즘이 수렴하여 평균오차는 점점 줄어들게 되므로 이에 비례하여 고정된 적응상수의 값을 변화시킨다. 식 (2)는 오차의 절대값을 이용한 가변스텝사이즈를 갖는 알고리즘에 대한 식을 나타낸다.

$$\mu(k) = 1 - \exp(-\alpha|e(k)|) \quad (2)$$

여기서  $\alpha$  는 scaling factor로서  $0 < \alpha < 1$ 의 사이의 값을 가지며,  $k$ 는 각 반복구간을 나타낸다.

VSS LMS 알고리즘과 비교했을 때, 식(2)는 정해져야 하는 파라미터가  $\alpha$  값 하나만 가지므로, VSS LMS 알고리즘에 비하여 적절한 파라미터를 찾기가 수월해진다.

#### 4. System Generator를 이용한 적응알고리즘 설계

FPGA 기술은 맞춤형 ASIC 디자인의 긴 제조 과정을 거치지 않고도 아이디어나 개념을 테스트하고 하드웨어에서 검증할 수 있다는 점에서 많은 응용에 사용되고 있다[11]. 고급 컨트롤 및 신호 처리를 위한 유용한 IP(Intellectual Property) 코어를 제공하며, 하이 레벨 소프트웨어 틀이 더욱 보편적으로 사용 가능해짐에 따라 개발 시간을 줄일 수 있다[12,13].

Xilinx 사의 System Generator는 시뮬레이션

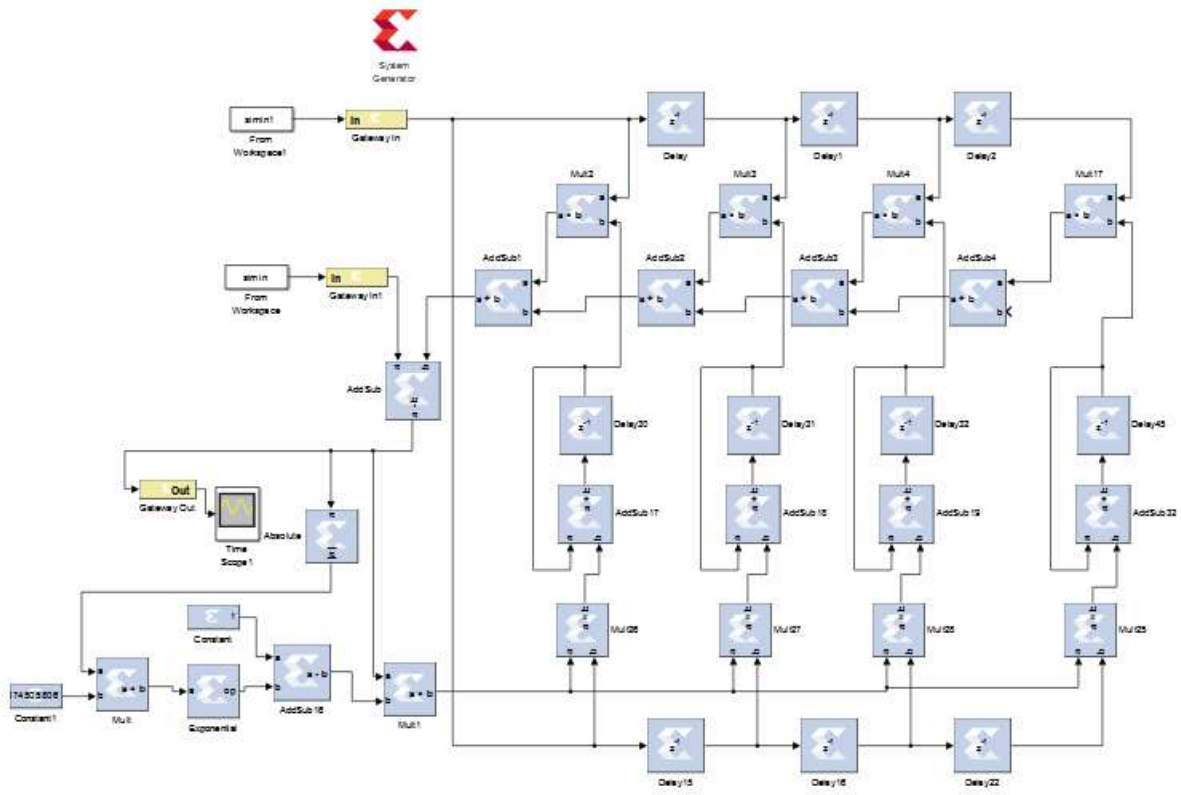


Fig. 1 Proposed step size variable adaptive algorithm design using System Generator

뿐만이 아니라 Simulink®를 사용하여 검증한 설계 모델을 실제 Xilinx FPGA에서 동작하는 것을 가능하게 하기 위해 제공되는 설계 툴이다. System Generator는 MathWorks사의 MATLAB®/Simulink®와 연계되어 사용되며, DSP 알고리즘을 블록 다이어그램으로 설계를 하면, 이를 타겟 플랫폼 상에서 시뮬레이션 및 검증을 할 수 있도록 한다[8].

Fig. 1은 4차 FIR필터로 구성된 것으로, 제안한 적응알고리즘을 System generator를 이용하여 설계한 것이다. 적응알고리즘은 크게 세 부분으로 구성되어 있다. FIR 필터 출력 부분, 계수 업데이트 부분, 가변스텝사이즈를 갖는 적응상수 부분으로 구성되어 있다. System Generator를 사용하여 설계된 DSP 알고리즘을 VHDL이나 Verilog HDL로 변환할 수 있으며, 변환된 VHDL이나 Verilog HDL을 ISE나 Vivado툴을 사용하여 비트 파일로 변환한다. 그리고 이를 프로그램 가능한 FPGA에 프로그램하고 실행시킬 수 있으며, Hardware in The Loop나 HDL Co-Simulation 등의 다양한 방법을 사용하여 하드웨어를 검증할 수 있다.

### 5. 실험 및 결과

실험은 적응잡음제거기에 적용하였으며, 이때 원 신호는 샘플링 주파수가 11.025KHz이고 16Bits로 양자화한 합성음성을 사용하였다. 입력음성의 SNR이 -5.33dB가 되도록 입력  $x(n)$ 은 평균이 '0', 전력이 '1'인 백색잡음(white gaussian noise)을 추가하였다. 잡음의 전달경로는 3차 FIR 필터로 근사화하여, 이 필터를 통과한 출력이 적응알고리즘의 입력이 되게 하였다. 적응필터의 차수 M=16로 하였으며, 환경이 급변하는 시스템에 대한 적응알고리즘의 성능평가를 위하여 10,000번 이후에 강력한 순간 노이즈가 들어온다는 가정을 하였다. 그리고 Kintex-7 KC705 FPGA 보드를 이용하여 Vivado 2013.4 환경에서 실험을

하였으며, LMS 알고리즘인 경우 적응상수  $\mu=0.05$ , 제안한 알고리즘에 대한 적응상수  $\alpha=0.05$ 로 하였다.

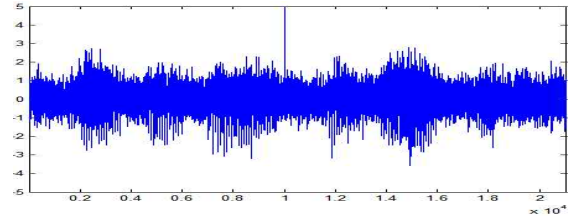


Fig. 2 Noise corrupted signal

Fig. 2는 원음성에 잡음이 포함된 신호를 그대로 나타낸 것이다. 가로축은 시간(time)을 나타내며 단위는 sec이다. 세로축은 진폭(amplitude)을 나타내고, 단위는 dB이다. 일반적인 음성 신호에 대하여 측정될 수 있는 파형을 보이고 있다.

한편 Fig. 3은 제안한 알고리즘의 출력신호와 비교하기 위하여 기존의 LMS 알고리즘을 잡음 제거기에 적용하여 얻은 출력신호이다. 원신호에 비하여 잡음이 다소 제거 되어 있음을 확인할 수 있다.

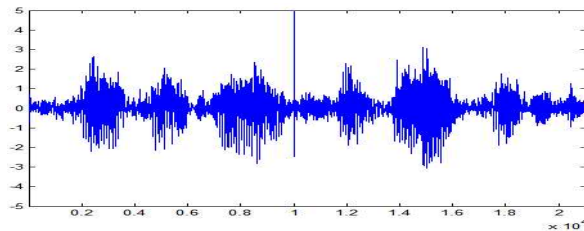


Fig. 3 Output signal for LMS algorithm

Fig. 4는 본 논문에서 제안한 알고리즘을 적응잡음제거기에 적용한 출력신호를 나타내었다. 본 논문에서 제안한 알고리즘은 평균오차의 순시 절대 값을 exponential 함수에 적용하여 적응상수의 값을 변화시키는 가변스텝사이즈를 갖는 방식이다. 적응필터의 출력인 오차신호의 평균에 대한 절대 값 대신 각각의 반복구간(iteration)마다의 오차신호의 절대 값을 사용한다. 이런 경우 적응신호처리 초기상태에서는 평균오차는 크고,

적응과정이 진행됨에 따라서 알고리즘이 수렴하여 평균오차는 점점 줄어들게 되므로 이에 비례하여 고정된 적응상수의 값을 변화시킨다. 제안된 알고리즘에 의한 결과 역시 LMS 알고리즘과 같이 잡음제거 효과가 나타나고 있음을 볼 수 있다.

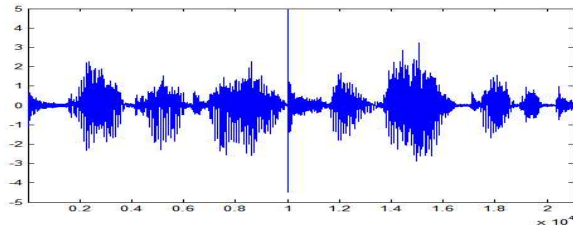


Fig. 4. Output signal for proposed algorithm

위의 결론에서 보는 것처럼 제안한 알고리즘인 순시 절대 값을 exponential 함수에 적용시킨 가변스텝사이즈를 갖는 적응 알고리즘이 기존 LMS 알고리즘과 수렴 특성은 비슷하지만, 환경이 급하게 변하는 경우에도 빠르게 수렴하는 것을 알 수 있다. 그리고 제안한 가변 스텝 사이즈를 갖는 적응 알고리즘은  $\alpha$ 값이 하나이기 때문에, 기존의 가변 스텝사이즈 LMS 알고리즘과 비교했을 때, 적당한 파라미터의 값을 찾는 것이 훨씬 수월함을 알 수 있다.

## 6. 결 론

본 논문에서는 제안한 알고리즘을 Kintex-7 KC705 FPGA 보드를 이용하여, System Generator 환경에서 알고리즘을 구현하여, 기존 알고리즘과 비교하였다. 그 결과 제안한 알고리즘은 기존의 가변 스텝사이즈 LMS 적응알고리즘에 비하여 수렴 특성이 개선됨을 알 수 있었다.

향후 적응잡음제거기 뿐만 아니라 다른 종류의 적응필터에 적용하여 성능을 비교, 분석하고 필터의 차수가 매우 큰 경우 계산량을 줄일 수 있는 효율적인 알고리즘에 관한 연구가 있어야 하겠다.

## References

- [1] Diniz, Adaptive filtering, algorithms and practical implementation, Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [2] K. Mayyas, "Performance analysis of the deficient length LMS adaptive algorithm", IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 53, No. 8, pp 2727-2734, 2005
- [3] J. A. Srar, K. S. Chung and A. Mansour, "Adaptive Array Beamforming Using a Combined LMS-LMS Algorithm", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 58, Issue 11, pp 3545 - 3557. 2010
- [4] S. Haykin, Adaptive Filter Theory, Prentice Hall. 2008.
- [5] G. Sumit, S, Shekha and S. Anurag , "Real time Implementation of variable step size LMS adaptive filtering algorithm", IUP Journal of EEE. Signal Processing, vol.8, pp7-16, July, 2015.
- [6] H. Hsu, L and Junghsi , "A new variable step size NLMS algorithm and its performance analysis", IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 60, pp 2055-2060, April, 2012.
- [7] S. B. Gelfand, Yongbin Wei and J. V. Krogmeier, "The stability of variable step-size LMS algorithms", IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 47, Issue 12, pp 3277 - 3288, 1999
- [8] A. Gupta and S. Joshi, "Variable Step-Size LMS Algorithm for Fractal Signals", IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 56, Issue 4, pp. 1411 - 1420, 2008
- [9] H. Boyan, X. Yegul, M., Yaping and S. Jinwel, "A simplified variable step size LMS algorithm for Fourier analysis and its statistical properties" Signal processing, December 2015.
- [10] R. C. Bilcu, P. Kuosmanen and K. Egiazarian, "A new variable step LMS

algorithm for transform domain”  
Electronics, Circuits and Systems, 2001.  
ICECS 2001. The 8th IEEE International  
Conference on, Vol. 3, pp. 1161-1164, 2001.

[11] N.J. Hoboken, Advanced FPGA design,  
Wiley. 2007.

[12] M. Hamouda; H. F. Blanchette; K.  
Al-Haddad; F. Fnaiech, “An Efficient  
DSP-FPGA-Based Real-Time  
Implementation Method of SVM  
Algorithms for an Indirect Matrix  
Converter”, IEEE Transactions on  
Industrial Electronics, Vol. 58, Issue 11,  
pp. 5024 - 5031, 2011

[13] IP cores for Xilinx FPGA, Mena Report,  
Oct., 2015.

**이 채 욱 (Chae-Wook Lee)**



- 일반회원
- 1980년 2월 : 한국항공대학교 통  
신공학과 (공학사)
- 1987년 2월 : 동경공업대학 전기전  
자공학과 (공학석사)
- 1990년 2월 : 동경공업대학 전기전자공학과 (공학박사)
- 1990년 3월 ~ 현재: 대구대학교 교수
- 관심분야 : 디지털 신호처리, ANC, 광통신 공학

**류 정 탁 (Jeong-Tak Ryu)**



- 종신회원
- 1992년 2월 : 영남대학교 전자공학  
과 (공학사)
- 1996년 : 오사카대학교 전자공학과  
(공학석사)
- 1999년 : 오사카대학교 전자공학과 (공학박사)
- 2000년 3월 ~ 현재 : 대구대학교 전자공학부 교수
- 관심분야 : 나노 및 센서 공학