

스텝사이즈에 따른 적응 알고리즘을 이용한 간섭제거 중계기

한용식*

Interference Cancellation System in Repeater
Using Adaptive algorithm with step sizes

Yong-Sik Han*

요 약

본 논문에서 ICS(Interference Cancellation System) 중계기를 위한 Signed LMS(Least Mean Square) 알고리즘을 제안한다. 제안된 Signed LMS 알고리즘은 스텝 사이즈를 조절함에 따라 성능이 개선된다. 제안된 Signed LMS 알고리즘에서 스텝사이즈가 0.067인 경우 수렴횟수 1000 회 일 때 평균 자승 에러는 기존 CMA 알고리즘보다 약 3 ~ 18 dB정도 더 낮다. 그리고, 평균 자승 에러 -25 dB 일 때 LMS(Least Mean Square)와 CMA보다 수렴횟수가 500 ~ 4000 회 정도 줄어든다.

ABSTRACT

In the paper, we propose a new Signed LMS(Least Mean Square) algorithm for ICS(Interference Cancellation System). The proposed Signed LMS algorithm improved performances by adjusting step size values. At the convergence of 1000 iteration state, the MSE(Mean Square Error) performance of the proposed Signed LMS algorithm with step size of 0.067 is about 3 ~ 18 dB better than the conventional LMS, CMA algorithm. And the proposed Signed LMS algorithm requires 500 ~ 4000 less iterations than the and LMS and CMA algorithms at MSE of -25dB.

키워드

Interference Cancellation System(ICS), Signed LMS, Least Mean Square, Repeater
간섭 제거 시스템, 부호화된 최소 평균 자승, 최소 평균 자승, 중계기

1. 서 론

중계기는 이동통신시스템의 확대로 인한 음영지역 해소를 위해 반드시 필요한 장치이다. 특히 RF(Radio Frequency) 간섭 제거중계기는 국내 이동전화서비스 사업자인 SKT, KTF, LGT에서 90% 이상 차지할

정도로 수요가 크다. 최근 휴대인터넷, 위성 DMB 서비스의 폭발적인 증가로 더욱 더 중계기의 역할이 커진다. 인도, 인도네시아를 비롯한 아시아 지역과 호주 등지의 WCDMA과 LTE 통신망 구축이 본격화되면서 해외시장에 각광을 받고 있다. 하지만, RF중계기의 최대 난점인 송신 안테나의 신호가 그대로 케환되어 수신안

* 교신저자(corresponding author) : 구미대학교 정보통신학과(ysh12@gumi.ac.kr)
접수일자 : 2014. 03. 06

심사(수정)일자 : 2014. 04. 21

게재확정일자 : 2014. 05. 15

테나에 유입되는 현상이 발생하게 되어 결국 중계기의 발전현상을 초래하게 된다. 그래서 비교적 안정적이고,

제약이 적은 광중계기를 많이 사용하고 있지만, 설치비 및 유지비가 많이 든다. 이러한 광중계기를 대체하기 위해 현재 상용되고 있는 중계기의 마이크로웨이브가 있으나 마이크로웨이브 중계기는 기상영향을 많이 받아 가시선이 확보되는 위치에 설치되어야 한다는 단점이 있다. 이러한 여러 가지 요인들로 인해 주파수를 이용한 RF중계기를 이용하는 것이 가장 좋은 방법에 해당된다[1-4].

본 논문에서는 FPGA(Field Programmable Gate Array) 기술을 이용한 간섭제거 중계기시스템이 필요하게 되며, 이것을 제거하기 위한 RF 중계기 내의 간섭제거 알고리즘을 이용한 제거방식을 쓰고 있다. 그 중 대표적인 알고리즘인 LMS(Least Mean Square)을 주로 사용하고 있다[5-8].

본 논문에서는 시변환경에서 변화하는 케환 간섭 제거 LMS 알고리즘을 변형하여 케환 간섭의 크기에 따른 Signed LMS을 제안한다. 2장에서는 RF 중계기내의 간섭제거시스템의 원리에 대해 살펴보고, 기존 LMS 알고리즘에 대해 살펴본다. 3장에서는 Signed LMS 알고리즘을 구현해 보고, 4장에서는 알고리즘의 모의실험을 한 후 결과를 제시한다. 마지막으로 5장에서는 결론을 맺는다.

II. 본 론

케환된 신호는 RF 중계기 입력단에 간섭(Interference)으로 유입되어 증폭기를 거쳐 원하는 신호와 같이 증폭되어 출력하게 된다. 그런데 이 출력된 신호는 다시 케환 신호로 RF중계기의 입력단에 유입되어 간섭으로 나타나게 되는데 이런 현상이 반복되게 되면 결국 발진(Oscillation)이 발생하게 된다. 이런 현상을 위한 ICS(Interference Cancellation System) 기술은 증폭기 수신 안테나의 간섭 제거를 통해 성능을 향상시켜 나가고, 음영 지역 해소와 용량을 확대시킬 수 있다. 적응형 ICS는 케환 간섭 잡음을 제거하기 위해 케환 간섭 신호를 실시간으로 인지하여, 적응 알고리즘을 통해 간섭 제거 파라미터, 즉 지연 시간, 위상, 진폭 등의 값을 결정하고, 계산된 값을 새로운 케환 신호에 가중

치(weighting)를 주어 지속적인 케환 간섭 잡음을 제거한다.

아래 그림 1은 간섭제거 시스템 구조로서 알고리즘을 적용하게 된다. 실제적인 케환 간섭신호 n_k 에 대해 지연시간(τ), 위상(ϕ), 진폭(A) 등의 가변 값을 시간의 변화에 따라 적응적으로 실시간 보상해 줄 수 있도록 해준다.

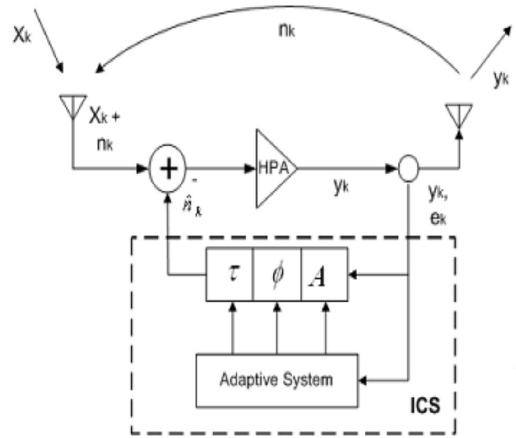


그림 1. 적응제어 시스템을 적용한 간섭제거시스템 구조

Fig. 1 The structure of ICS(Interference Cancellation System) using the adaptive control system

채널을 추정하기 위한 알고리즘으로 LMS와 RLS(Recursive Least Square)가 대표적이지만, 실제 각각의 알고리즘들의 모의실험 결과와 연산량 계산은 RLS 알고리즘이 LMS 알고리즘보다 채널을 추정하는 가중치 수렴을 2배정도 빠르게 하고, 채널의 분산에 대해 LMS보다 성능이 좋지만, 매 반복횟수(Iteration)마다 연산량이 많아 하드웨어 구현 시 상당한 어려움이 겪게 된다. 따라서 최소 평균자승 알고리즘인 LMS를 활용하여 적응성 선형 필터기의 출력 에러 자승 평균값이 최소가 되도록 적응상수를 조절하여 탭 가중계수에 의해 처리되며 채널 값을 추정하게 된다. 즉 수신된 신호와 판정된 신호 간 오차의 MSE(Mean Square Error)를 최소화하는 기법이다. 여기서 사용되는 필터기는 FIR(Finite Impulse Response)필터기를 적용한다. LMS 알고리즘과 관계된 관계식을 살펴보면 다음과 같다[8].

$$y_k = W_k X_k \quad (1)$$

$$e_k = d_k - W_k^H X_k \quad (2)$$

$\nabla_k = 0$ 가 0 일 때 제곱에러가 최소

$$\nabla_k = \frac{\partial e_k^2}{\partial w} = \frac{\partial}{\partial w} (d_k - W_k^H X_k)^2 = 2e_k X_k \quad (3)$$

가중치를 갱신하는 수식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} W_{k+1} &= W_k + \mu(-\nabla_k) = W_k + \mu(2e_k X_k) \\ &= W_k + 2\mu e_k X_k \end{aligned} \quad (4)$$

여기서, y_k , X_k 는 k번째 입력신호와 필터기 출력신호이고, e_k 와 d_k , W_k 은 k번째 에러 신호, 원하는 신호, 가중치(weight)값이다. μ 는 스텝사이즈이다. 스텝사이즈 μ 값이 크면 적응 속도는 빨라지나, 평균 자승 에러는 높아지며, 스텝사이즈 μ 값이 작으면 적응 속도는 느려지나, 평균 자승 에러는 낮아진다. 그래서 스텝사이즈 μ 의 범위는 다음과 같다[8-9].

$$1 < \mu < \frac{1}{\lambda_{\max}} \quad (5)$$

여기서 λ_{\max} 는 입력 신호에 대한 자기상관 행렬의 최대 고유값이다. LMS 알고리즘은 계산량이 적고, 하드웨어의 복잡도도 그렇게 높지 않은 편이다. LMS 알고리즘은 수렴 속도가 느리고, 스텝 사이즈와 신호의 크기에 따라 수렴 특성이 떨어지는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 μ 값을 조절하여 신호의 크기를 일정하게 유지하고, 입력신호의 유연성을 위한 다각적인 실험을 진행하여야 할 것이다.

III. 제안된 Signed LMS 알고리즘 구현

ICS 중계기의 목표는 시간 지연이 없이 케환되어 들어오는 신호를 신속히 제거하고, 빠르게 수렴할 수 있는 시스템을 구현하는 것이 중요하다. 일반적인 LMS 알고리즘보다 수학적인 연산을 줄이면서 동일한 성능으로 수렴할 수 있는 알고리즘으로 본 논문에서는

Signed LMS 알고리즘을 적용하여 시스템을 구성하였다. 스텝사이즈에 따라 Signed LMS 알고리즘의 수렴 현상을 이용해 에러를 추정하여 제거한다. 이렇게 함으로써 적응도를 유연하고, 적응도가 좀 더 빠르게 하여 오차를 최대한 줄일 수 있다. 또한 향후 하드웨어 구성 시 용이하게 구현할 수 있다. 수렴속도와 에러를 동시에 만족시키는 보정방법으로 Signed LMS 알고리즘을 적용한다. LMS 알고리즘에 대한 sign 알고리즘은 다음과 같이 정의할 수 있다. sign 함수의 정의를 보면 식 6과 같다.

$$\text{sgn}(a) = \begin{cases} 1; & a > 0 \\ 0; & a = 0 \\ -1; & a < 0 \end{cases} \quad (6)$$

계수를 갱신할 때 다음 식 7과 같이 나타낼 수 있다.

$$W_{k+1} = W_k + 2\mu \text{sgn}(e_k)(X_k) \quad (7)$$

이렇게 에러 신호에 부호를 취하여 계수를 갱신함으로써 걸리는 시간을 줄일 수 있다. 즉 sgn은 부호로서 양, 음에 따라 1 혹은 -1의 값을 갖는다. 그래서 계수를 갱신시킬 때 $\text{sgn}(e_k)X_k$ 의 값에 따라서 다음과 같은 식 8과 같이 나타낼 수 있다.

$$W_{k+1} = W_k \pm 2\mu e_k X_k \quad (8)$$

즉 에러 신호에 부호를 취하여 계수를 갱신함으로써 걸리는 시간을 줄일 수 있으며, 더욱 더 유연한 에러 신호에 대처할 수 있는 장점이 있다.

IV. 전산모의실험

표 1은 시뮬레이션하기 위한 시스템 조건을 나타낸 것이다. 여기서, 중계기에서 가장 제거 대상인 케환 신호이므로 수신단과 송신단 사이는 케환 신호가 없는 것과 케환 신호가 있는 것으로 가정하였다. 실험에서 WCDMA 시스템으로 시스템 대역폭과 샘플링 주파수를 각각 10MHz로 실시하였다. 각각의 알고리즘은 스텝사이즈를 너무 큰 값이나 작은 값을 줄 경우 발산되어 버린다. 따라서 각각의 알고리즘에 대해 안정적으로 적용될 수 있는 스텝사이즈를 단계적으로 값을 넣

어 변화와 비교된 성능을 분석하였다.

표 1. 시뮬레이션 조건
Table 1. Simulation conditions

Multiple access	WCDMA
System bandwidth	10 MHz
Sampling frequency	10 MHz
Feedback signal	0~10 dB
System time delay	under 8 μ S
Signal to noise ratio	10~15 dB

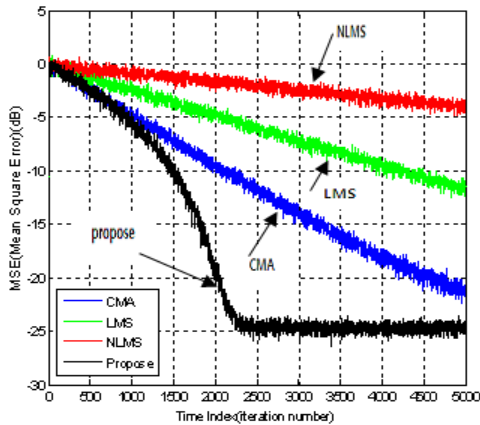


그림 2. 궤환 신호의 크기가 0dB일 때 CMA, LMS, NLMS, Signed LMS 적응 알고리즘 비교($\mu=0.018$)
Fig. 2 Comparison of results between signed LMS and CMA, LMS, NLMS algorithm in case of 0dB of feedback signal

그림 2에서 보는 바와 같이 궤환 신호의 크기가 0dB로 궤환이 없을 시 다른 알고리즘과 비교한 결과로서 스텝사이즈 값을 0.018로 하였다. 제안된 Signed LMS 알고리즘은 기존 CMA, LMS, NLMS 알고리즘보다 3000 회 이상 수렴율을 줄일 수 있으며, 반복횟수 2500 회 일 때 약 13~23dB 이내로 우수하다.

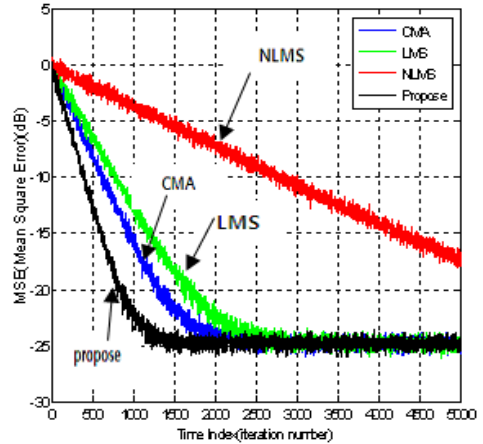


그림 3. 궤환 신호의 크기가 5dB일 때 CMA LMS, NLMS, Signed LMS 적응 알고리즘 비교($\mu=0.025$)
Fig. 3 Comparison of results between signed LMS and CMA, LMS, NLMS algorithm in case of 5dB of feedback signal

그림 3에서 보는 바와 같이 궤환 신호의 크기가 5dB로 궤환이 주어지게 되면 기존 알고리즘과 훨씬 좋은 알고리즘의 결과를 보이고 있다. 즉 스텝사이즈 값을 0.025로 하였을 때 제안된 Signed LMS 알고리즘은 기존 LMS, CMA 알고리즘보다 평균 자승 에러가 반복횟수 1500 회 일 때 약 3 ~ 5dB 이내로 우수하다. 또한 수렴율은 평균자승에러 -25dB일 때 LMS, CMA 알고리즘보다 반복횟수 500 ~ 1000 회 빠르게 나타난다.

그림 4에서 보는 바와 같이 궤환 신호의 크기가 10dB로 궤환이 있을 시 다른 알고리즘과 비교한 결과로서 스텝사이즈 값을 0.067로 하였다. 제안된 Signed LMS 알고리즘은 기존 LMS, CMA 알고리즘보다 평균 자승 에러가 반복 횟수 1000 회 일 때 약 3 ~ 18dB 이내로 우수하다. 또한 수렴율은 평균자승에러 -25dB일 때 LMS, CMA 알고리즘보다 반복횟수 약 500 ~ 4000 회 빠르게 나타난다.

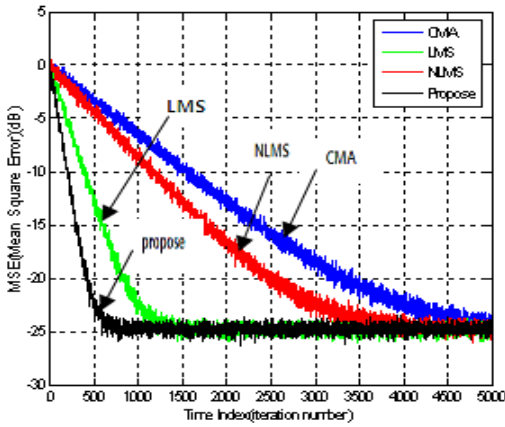


그림 4. 궤환 신호의 크기가 10dB일 때 CMA, LMS, NLMS, Signed LMS 적응 알고리즘 비교($\mu=0.067$)
 Fig. 4 Comparison of results between signed LMS and CMA, LMS, NLMS algorithm in case of 10dB of feedback signal

위 실험에서 보듯이 궤환 신호를 비교적 크게 했을 경우에도 스텝사이즈를 적절히 조절하게 함에 따라 Signed LMS가 향상된 것은 제안된 스텝사이즈 값과 알고리즘이 비교적 우수하다는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 이보다 높은 스텝사이즈에서는 발산되어진다. 특히 에러 신호에 대한 유연한 Sign함수를 적용함으로써 더욱 더 빠른 유연하고, 적응도가 높으며, 오차율을 크게 줄일 수 있다.

V. 결론

이상에서 보는 바와 같이 ICS 중계기에 있어서 송신 안테나에서 들어오는 궤환 신호를 빠르고, 안정적으로 수렴시켜 나가는 것이 중요하다.

본 논문에서는 Signed LMS 알고리즘을 이용하여 ICS 시스템에 적용하게 되었다. 결국 궤환 신호의 크기가 0 dB ~ 10 dB 일 때 하였으며, 제안한 Signed LMS 알고리즘은 스텝사이즈 값을 0.067로 하였을 때 기존 CMA, LMS, NLMS 알고리즘과 비교하여 평균 자승 에러가 반복횟수 1000 회 일 때 약 3 ~ 18 dB 이내 에러율을 보였으며, 평균 자승 에러가 -25 dB 일때 반복횟수 약 500 ~ 4000 회 정도로 가장 우수하게 나

타난다. 제안된 Signed LMS 알고리즘은 궤환이 없을 시와 있을 시를 비교한 결과 궤환이 있을시 더욱 더 기존 알고리즘보다 성능이 우수하게 나타나는 것으로 확인되었다.

앞으로 제안된 Signed LMS 알고리즘을 이용하여 실제 ICS 중계기 구현을 통한 실험을 실시하는 연구가 계속 되어야 할 것이다.

References

- [1] S. Rappaport, *Wireless Communications*. Prentice Hall, 2002.
- [2] S.-M. Kim, "Limit Analysis of the Distance between DU and RU in 4G FDD Mobile Communication Systems," *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 1, 2012, pp. 135-139.
- [3] S.-M. Kim, "A New RF-path Calibration Method for BSs with Repeaters," *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 6, no. 2, 2011, pp. 274-279.
- [4] P. Haghigat and A. Ghayeb, "Trickle-Based Interference Cancellation Schemes for CDMA Systems," *IEEE Trans. Wireless Communication*, vol. 8, no. 1, 2009, pp. 13-17.
- [5] W. Moon and S. Im, "Adaptive feedback interference cancellation using correlation for WCDMA wireless repeaters," *The Institute of Electronics Engineers of Korea, Journal*, vol. 44, no 7, 2007, pp. 660-665.
- [6] Lattice Semiconductor Corporation, "LMS Adaptive Filter," *Reference Design RD 1031*, 2006.
- [7] S.-S. Hwang, "Channel Estimation Based on LMS Algorithm for MIMO-OFDM System," *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 6, 2012, pp. 1455-1461.
- [8] S. Kim, J. Lee, J. Lee, J. Kim, B. Lee, and N. Kim, "Adaptive feedback interference cancellation system(AF-ICS)," *Proc. IEEE MITS Int. Microwave Symp, Dig*, vol. 1, 2003, pp. 627-630.
- [9] T. Aboulnasr and K. Mayyas, "A robust Variable Step-Size LMS Type Algorithm Analysis and Simulation," *IEEE Trans. Signal*

Processing, vol. 45, no. 3, Mar. 1997, pp. 631-639.

저자 소개



한용식(Yong-Sik Han)

1994년 경일대학교 전자공학과 졸업(공학사)

2003년 영남대학교 대학원 정보통신공학과 졸업(공학석사)

2011년 인천대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

2012년~현재 구미대학교 정보통신과 전임강사

※ 관심분야 : 이동통신시스템, 중계시스템