

# Signed-Signed LMF 알고리즘을 이용한 간섭제거 중계기

한용식\*

Interference Cancellation System in Repeater Using Signed-Signed LMF Algorithm

Yong-Sik Han\*

요 약

최근 4G 이동통신 제조업체의 대다수는 적응성이 우수한 중계를 선호하는 편이다. 본 논문에서는 LTE RF 중계기를 위한 새로운 LMF(Least Means Fourth) 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘은 LMF(Least Means Fourth)를 수정한 것으로서, 스텝 사이즈를 적절하게 조절하고 Sign 함수에 따라 개선된 성능을 보이게 된다. 스텝사이즈 0.009인 제안된 LMF 알고리즘 평균 자승 에러는 약 -25dB로 낮은 수준이고, 평균 자승 에러 -25dB를 기준으로 기존 알고리즘보다 반복 회수가 500회 이상 빠르게 수렴된다.

ABSTRACT

Recently, a majority of 4G mobile telecommunication manufacturers prefer repeaters with good adaptability. In this paper, we propose a new LMF(Least Means Fourth) algorithm for LTE(Long Term Evolution) RF(Radio Frequency) Repeater. The proposed algorithm is a modification of the LMF, which appropriately adjusts the step size and improves performance according to the Sign function. The steady state MSE(Mean Square Error) performance of the proposed LMF algorithm with step size of 0.009 is low level at about -25dB, and the proposed LMF algorithm requires 500 less iterations than the conventional algorithms at MSE of -25dB.

키워드

Interference Cancellation System(ICS), Signed-Signed LMF, Least Mean Fourth, Repeater  
간섭 제거 시스템, 부호-부호화된 최소 평균 자승, 최소 평균 자승, 중계기

## 1. 서 론

최근 급증하는 이동통신 수요에 따른 디바이스의 성능 향상, 데이터 집약적 콘텐츠의 증가 등으로 인해 모바일 트래픽 양이 엄청난 속도로 증가 하고 있으며, 사물인터넷의 등장으로 트래픽의 양은 더욱 증가할 전망이다. 특히 5G는 4G에 비하여 더욱 더 작은 셀(small

cell)로 촘촘하게 중계기가 구축함으로써 음영 문제를 해결이 가능할 것으로 전망된다[1]. 기존의 무선 중계기의 경우 송수신 주파수가 동일하여 필연적으로 궤환 신호에 의한 발진현상을 초래하게 된다. 옥외(outdoor) 환경에서는 사용하기 어려운 문제로 궤환 신호의 격리도를 확보 가능한 건물 지하 등에서 제한적으로 사용이 가능하다. 최근에 와서 DU(Digital Unit)와 RU(

\* 교신저자: 구미대학교 전자컴퓨터공학부

• 접수일 : 2019. 07. 23  
• 수정완료일 : 2019. 09. 03  
• 게재확정일 : 2019. 10. 15

• Received : Jul. 23, 2019, Revised : Sep. 03, 2019, Accepted : Oct. 15, 2019

• Corresponding Author : Yong-Sik Han  
College of Electronic & Computers Engineering  
Email : ysh12@gumi.ac.kr

Radio Unit)로 분리된 형태의 기지국이 많이 등장하고 있다.

이러한 DU와 RU로 분리된 형상의 기지국은 전화국사에 DU를 두고, 설치비용 및 임대비용이 많이 드는 최소한의 RF 소자들로 구성된 RU를 설치한다. DU와 RU 간 거리를 무한정 늘릴 수 있으면, RU셀의 개수가 늘어날 수 있어 경제적이다. 하지만 거리를 무한정 늘리는 것은 현실적으로 어려움이 있다. 이러한 여러 가지 요인들로 인해 주파수를 이용한 RF중계기를 이용하는 것이 가장 좋은 방법에 해당된다[2-4].

본 논문에서는 RF 중계기에 쓰이는 LMF(Least Means Fourth) 알고리즘을 이용하여 시변환경에서 변화하는 케환 간섭 제거 LMF 알고리즘을 변형하여 입력신호와 케환 간섭의 크기에 따른 Signed-Signed LMF 알고리즘을 제안한다. 2장, 3장에서는 RF 중계기 내의 간섭제거 시스템의 원리에 대해 살펴보고, 기존 LMS(Least Means Square), LMF 알고리즘에 대해 언급한다. 4장에서는 Signed-Signed LMF 알고리즘을 제안하고, 5장에서는 알고리즘의 모의실험을 한 후 결과를 제시한다. 마지막으로 6장에서는 결론을 맺는다.

## II. 적응 간섭 제거 시스템의 원리

케환된 신호는 RF 중계기 입력 단에 간섭(Interference)으로 유입되어 증폭기를 거쳐 원하는 신호와 같이 증폭되어 출력하게 된다. 그런데 이 출력된 신호는 다시 케환 신호로 RF중계기의 입력 단에 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 가중치(Weighting)를 주어 지속적인 케환 간섭 잡음을 제거한다.

아래 그림 1은 간섭제거 시스템 구조로서 알고리즘

을 적용하게 된다. 실제적인 케환 간섭신호  $n_k$ 에 대해 지연시간( $\tau$ ), 위상( $\phi$ ), 진폭( $A$ ) 등의 가변 값을 시간의 변화에 따라 적응적으로 실시간 보상에 줄 수 있도록 해준다[3-6].

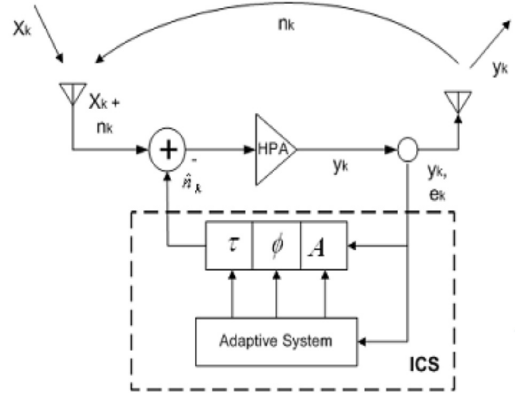


그림 1. 적응제어 시스템을 적용한 간섭제거시스템 구조

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

LMS는 최소평균자승 알고리즘으로서 실제 값과 추정 값 사이의 오차의 평균을 제공하여 최소화하는 변수를 추정하는 반면, LMF는 오차의 세 제공하여 최소화한다. LMF는 LMS보다 성능이 좋지만, 매 반복 회수(iteration)마다 연산량이 많아 하드웨어 구현시 상당한 어려움이 겪게 된다. 따라서 최소 평균 사제곱인 LMF를 활용하여 적응성 선형 필터기의 출력 에러 사승 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. 먼저 기본적인 LMS 알고리즘 관계식을 살펴보면 다음과 같다[7-8].

$$y_k = W_k X_k \tag{1}$$

$$e_k = d_k - W_k^H X_k \tag{2}$$

여기서  $y_k$ ,  $X_k$ 는  $k$ 번째 입력신호와 필터 출력신호이며,  $e_k$ 와  $d_k$ ,  $W_k$ 는  $k$ 번째 에러신호, 원하는 신호, 가중치값이다.

### III. LMF 알고리즘

LMF는 오차의 네 제곱 평균  $E[e_k]^4$ 을 사용하는 대신 오차의 네 제곱 순시값  $(e_k)^4$ 를 사용한다[9-10]. 순시오차  $e_k$ 의 네제곱한 후  $(w_k)$ 에 대한 미분을 적용하면 식 (3)과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\nabla_k = \frac{\partial e_k^4}{\partial w} = \frac{\partial}{\partial w} (d_k - W_k^H X_k)^4 = 4e_k^3 X_k \quad (3)$$

가중치를 갱신하는 수식은 식 (4)와 같다.

$$\begin{aligned} W_{k+1} &= W_k - \hat{\mu}(\nabla_k)[e_k^4] = W_k + \hat{\mu}(4e_k^3 X_k) \\ &= W_k + \mu e_k^3 X_k \end{aligned} \quad (4)$$

여기서,  $y_k$ ,  $X_k$ 는  $k$ 번째 출력신호와 입력신호이고,  $e_k$ 와  $d_k$ ,  $W_k$ 은  $k$ 번째 에러 신호, 원하는 신호, 가중치(weight)값이다.  $\mu$ 는 스텝사이즈이다. 스텝사이즈  $\mu$ 값이 크면 수렴 속도는 빨라지나, 평균 자승 에러가 높아져 정확도가 떨어지며, 스텝사이즈  $\mu$ 값이 작으면 수렴 속도는 느려지나, 평균 자승 에러가 낮아져 정확도가 높아진다. 그래서 스텝사이즈  $\mu$ 의 범위는 식 (5)와 같다.

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

여기서  $\lambda_{\max}$ 는 입력 신호에 대한 자기상관 행렬의 최대 고유 값이다. LMF 알고리즘은 LMS 알고리즘과 비교해서 계산량이 많고, 하드웨어의 복잡도도 높은 편이다. 스텝사이즈  $\mu$ 값을 상황에 따라 변화시켜 스텝 사이즈 크기에 따른 수렴 속도와 에러 특성을 보

완하기 위한 다각적인 실험을 진행하여야 할 것이다.

### IV. 제안된 Signed-Signed LMF 알고리즘

ICS 중계기의 목표는 시간 지연이 없이 깨끗되어 들어오는 신호를 신속히 제거하고, 빠르게 수렴할 수 있는 시스템을 구현하는 것이 중요하다. 기존 LMS, LMF 알고리즘보다는 수렴과 에러를 향상시킬 수 있는 알고리즘으로 본 논문에서는 Signed-Signed LMF 알고리즘을 적용하여 실험을 진행하였다. 스텝사이즈에 따라 수렴현상을 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-Signed LMF 알고리즘을 적용한다. LMF 알고리즘에 대한 Sign 알고리즘은 식(6)과 같이 정의할 수 있다. Sign 함수의 정의를 보면 식 6과 같다.

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

계수를 갱신할 때 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$W_{k+1} = W_k + \mu \text{sgn}(e_k^3) \text{sgn}(X_k) \quad (7)$$

이렇게 에러 신호와 입력신호에 부호를 취하여 계수를 갱신함으로써 걸리는 시간을 줄일 수 있다. 즉 sgn은 부호로서 양, 음에 따라 1 혹은 -1의 값을 갖는다. 그래서 계수를 갱신시킬 때  $\text{sgn}(e_k^3) \text{sgn}(X_k)$ 의 값에 따라 갱신되는 가중치 값에 따라 영향을 주게 되어 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$W_{k+1} = W_k \pm \mu e_k^3 X_k \quad (8)$$

즉 에러 신호와 입력 신호에 부호를 취하여 계수를 갱신한다는 것은 수렴 시간을 줄여주거나 오차율을

줄여 주는데 있어 도움이 될 수 있다.

### V. 전산모의실험

본 장에서는 시뮬레이션을 통해 제안한 알고리즘의 수렴성을 알아본다. 표 1은 중계기와 비슷한 환경으로 시뮬레이션하기 위한 시스템 조건을 나타낸 것이다. 여기서, 중계기의 제거 대상인 궤환 신호를 10dB 내 정도로 있는 것으로 가장하고, 기존 CMA, LMS, LMF 알고리즘과 비교하였다. LTE 시스템으로 시스템 대역폭과 샘플링 주파수를 각각 10MHz 정도로 하였다. 실험 중 스텝사이즈의 조정값에 따라 변화량이 너무 큰 값이거나 작은 값일 경우에는 발산되어 버린다. LMF 알고리즘의 경우 에러값의 세제곱을 함에 따라 변화폭이 커지는 것은 상대적으로 에러값과 입력값에 Sign의 부호를 취함으로써 스텝사이즈를 단계적으로 값을 넣어 변화와 비교된 성능을 분석하였다.

표 1. 시뮬레이션 조건  
Table 1. Simulation conditions

항 목	내용
Multiple access	LTE, LTE-A
System bandwidth	10MHz
Sampling frequency	10MHz
Feedback signal	Within 10dB
System time delay	Less than 5 $\mu$ S
Signal to noise ratio	10~15dB

그림 2는 5dB의 궤환 신호의 크기가 있을 때 나타낸 것으로 그림에서 보는 바와 같이 다른 알고리즘과 비교한 결과이다. 스텝사이즈 값을 0.5로 하였을 때 제안된 Signed-Signed LMF 알고리즘은 기존 CMA, LMS, LMF 알고리즘보다 10~20dB 에러율이 조금 떨어지는 결과를 보이고 있다. 이것은 LMF 알고리즘의 특성상 에러의 세제곱과 입력값과 에러값의 Sign 값에 따른 초기 적응율이 떨어져 다소 떨어지게 된다.

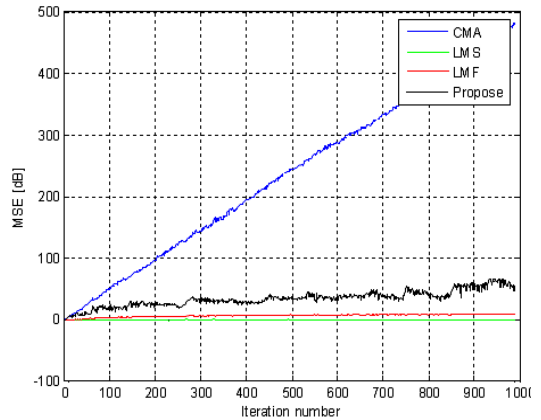


그림 2. 궤환 신호의 크기가 5dB인 경우 CMA, LMS, LMF, Signed-Signed LMF 알고리즘 비교( $\mu=0.5$ )  
Fig. 2 Comparison of results between Signed-Signed LMF and CMA, LMS, LMF algorithm in case of 5dB of feedback signal.

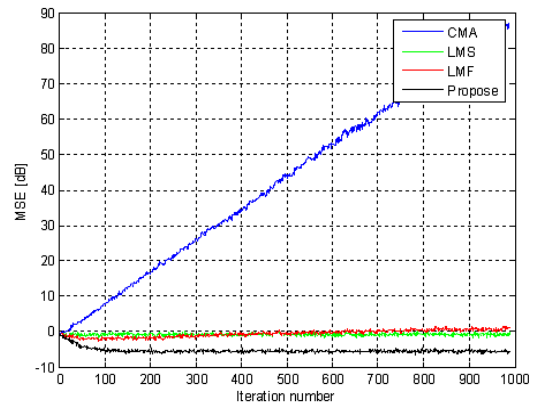


그림 3. 궤환 신호의 크기가 5dB인 경우 CMA, LMS, LMF, Signed-Signed LMF 알고리즘 비교( $\mu=0.09$ )  
Fig. 3 Comparison of results between Signed-Signed LMF and CMA, LMS, LMF algorithm in case of 5dB of feedback signal.

그림 3은 5dB의 궤환 신호의 크기가 있을 때 나타낸 것으로 그림에서 보는 바와 같이 다른 알고리즘과 비교한 결과이다. 스텝사이즈를 조금씩 적게 하면서 조정하여 스텝사이즈 값을 0.09로 하였을 때 -5dB의 특성값을 보여 기존 알고리즘보다 약 5dB 에러율이 떨어진다. 또한, 반복 회수도 150회일 때 -50dB로 비교적 빠르게 수렴하는 특성을 보였다. 그림 4는 10dB

의 케환 신호의 크기가 있을 때 나타낸 것으로 그림에서 보는 바와 같이 다른 알고리즘과 비교한 결과이다. 스텝사이즈 값을 0.009로 하였을 때 제안된 알고리즘은 기존 LMF 알고리즘보다 수렴율이 약 500회 이상 빠르고, -25dB의 오차율로 낮게 형성되어 진다.

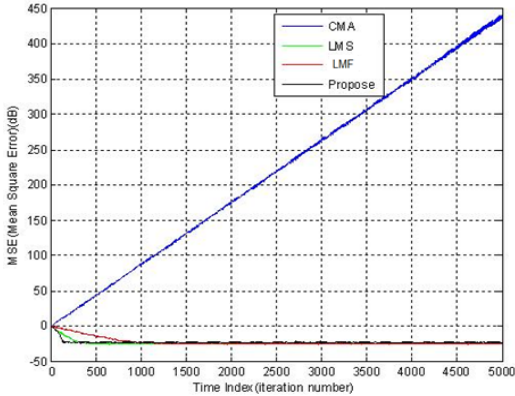


그림 4. 케환 신호의 크기가 10dB인 경우 CMA, LMS, LMF, Signed-Signed LMF 알고리즘 비교( $\mu=0.009$ )  
Fig. 4 Comparison of results between Signed-Signed LMF and CMA, LMS, LMF algorithm in case of 10dB of feedback signal.

앞으로 제안된 알고리즘은 케환 신호와 주위의 변화하는 환경이 크면 클수록 Sign값과 스텝사이즈 값 조절에 의해 발산 없이 안정적으로 적응하는데 있어 뛰어난 것이다. 다만 스텝사이즈 조절값을 0.5~0.009 까지 비교적인 안정성을 유지하기 때문에 이 수치를 유지하는 것이 좋을 것이다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 Signed-Signed LMF 알고리즘을 이용하여 ICS(: Interference Cancellation System)에 적용하게 되었다. 케환 신호를 5dB로 적게 하고, 스텝사이즈도 비교적 클 때에는 기존 LMS와 LMF보다 에러율이 다소 떨어지지 않지만 케환 크기를 10dB로 하고, 스텝사이즈도 비교적 적게 할 경우에는 제안한 알고리즘은 기존 CMA, LMS, LMF 알고리즘보다 수렴

율이 500회 이상 향상되는 것을 볼 수 있었다. 그리고, 에러율도 전체적으로 -25dB로 낮은 값을 보여 전체적인 성능개선에 도움이 될 것이다.

향후 제안된 알고리즘을 이용하여 옥외 중계기의 변화에 대응되는데 좋은 예로 사용되기를 바라며, 실제 중계기의 특성을 고려하여 적용하여야 할 것이다.

## References

- [1] D. Kim, "Trend of IoT Situation Recognition Technology," *The J. of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 24, no. 4, July 2013, pp. 20-25.
- [2] S. 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] Y. Han, "Adaptive Interference Cancellation Method in Wireless Repeater System," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 11, no. 5, 2016, pp. 459-464.
- [4] J. Kim and W. Oh, "A Design Method of The Active Noise Controllers for the Perceived Noise Reduction," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 14, no. 1, 2019, pp. 179-184.
- [5] S. Kim, J. Lee, J. Lee, J. Kim, B. Lee, and N. Kim, "Adaptive feedback interference cancellation system(AF-ICS)," *Proc. IEEE MTTTS Int. Microwave Symp*, vol. 1, 2003, pp. 627-630.
- [6] H. Chen and S. Kang, "An Interchannel Self-Cancellation Scheme for the Orthogonal Frequency Division Multiplexing System," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 13, no. 4, 2018, pp. 729-736.
- [7] Lattice Semiconductor Corporation, "LMS Adaptive Filter," *Reference Design RD1031*, Feb. 2012, pp. 1-4.
- [8] 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. 35-40.

- [9] P. I. Hubscher and J. C. Bermudez, "An improved statistical analysis of the least mean fourth(LMF) adaptive algorithm," *IEEE Trans.*, vol. 51, no. 3, 2003, pp. 664-671.
- [10] J. Lim, "An algebraic step size least mean fourth algorithm for acoustic communication channel estimation," *The Journal of the Acoustical Society of Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 35, no. 1, 2016, pp. 55-62.

### 저자 소개



#### 한용식(Yong-Sik Han)

1994년 경일대학교 전자공학과  
졸업(공학사)

2003년 영남대학교 대학원 정보  
통신공학과 졸업(공학석사)

2011년 인천대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

2007년 DU위더스 기술연구소 선임연구원

2008년~2011년 한국산업기술대학교 전자공학과 겸  
임교수

2012년 3월 (주) 정보기술시스템(ITS) 기술연구소 수  
석연구원

2012년 ~ 현재 구미대학교 전자컴퓨터공학부 조교  
수

※ 관심분야 : IoT, 이동통신시스템, 위성통신