

# WCDMA 무선 중계기에서 CMF 알고리즘을 이용한 간섭 제거 방식

## Interference Cancellation Methods using the CMF (Constant Modulus Fourth) Algorithm for WCDMA RF Repeater

한 용 식\*, 양 운 근\*  
Yong Sik Han\*, Woon Geun Yang\*

### Abstract

In the paper, we propose a new CMF(Constant Modulus Fourth) algorithm for WCDMA(Wideband Code Multiple Access) RF(Radio Frequency) Repeater. CMF algorithm is proposed by modifying the CMA(Constant Modulus Algorithm) algorithm and improved performances are achieved by properly adjusting step size values. The steady state MSE(Mean Square Error) performance of the proposed CMF algorithm with step size of 0.35 is about 4dB better than that of the conventional CMA algorithm. And the proposed CMF algorithm requires 400~1100 less iterations than the LMS(Least Mean Square) and NLMS(Normalized Least Mean Square) algorithms at MSE of -25dB.

### 요 약

본 논문에서 광대역 코드분할 다중접속 무선 중계기에서 간섭제거를 위한 새로운 CMF(Constant Modulus Fourth) 알고리즘을 제안한다. CMF 알고리즘은 고정 계수 알고리즘인 CMA(Constant Modulus Algorithm)를 수정한 것으로서, 스텝 사이즈를 적절하게 조절함에 따라 개선된 성능을 보이게 된다. 제안된 CMF 알고리즘에서 스텝사이즈가 0.35인 경우 수렴상태에서 평균 자승 에러는 기존 CMA 알고리즘보다 약 4 dB정도 더 낮다. 그리고, 평균 자승 에러 -25dB를 기준으로하면 LMS(Least Mean Square)와 NLMS(Normalized Least Mean Square)보다 반복회수가 400~1100번 정도 줄어든다.

*Key words : Constant Modulus Algorithm, Constant Modulus Fourth, Least Mean Square, Repeater, Interference Cancellation.*

### 1. 서론

최근 정보화 사회의 급속한 발달로 인해 다양한 서비스 수요 증가로 중계기의 비중은 점점 증가하고 있

다. 중계기는 광대역 코드분할 다중접속(WCDMA : Wideband Code Division Multiple Access)에서 음영 지역 해소를 통한 통화권 확대 및 전송 용량 증대를 위해 상당히 중요한 비중을 차지하고 있다[1]. 하지만 RF(Radio Frequency) 중계기의 송수신 안테나간의 이격도 부족으로 인해 송신 안테나의 신호가 수신 안테나로 케환되어 발진 및 간섭으로 인해 중계기에 많은 문제를 일으킨다. 이러한 문제를 해결하기 위해 RF 중계기에서 적응 간섭 알고리즘을 적용한다[2]. RF 중계기에 적용하는 대표적인 알고리즘으로는 LMS(Least Mean Square)[3]와 NLMS(Normalized Least Mean Square)[4]와 CMA(Constant Modulus

\* 仁川大學校 電子工學科  
(Department of Electronics Engineering, University of Incheon)

★ 교신저자 (Corresponding author)  
接受日:2011年 11月 07日, 修正完了日: 2011年12月 05日  
掲載確定日: 2011年 12月 7日

Algorithm)[5]와 LMF(Least Mean Fourth) 방식이 주로 사용되고 있다.

본 논문에서는 기존 고정 계수 방식인 CMA 알고리즘보다 효과적인 방법으로 스텝 사이즈를 고려한 CMF(Constant Modulus Fourth)을 제안한다.

2장에서는 기존 CMA 알고리즘에 대해 기술하고, 스텝 사이즈를 고려한 CMF를 제안한다. 3장에서는 다른 알고리즘과 비교 분석한 전산 모의실험 결과를 제시하고 그리고 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

## II. 제안된 CMF 알고리즘

### 1. CMA 알고리즘

적용 필터에 적용한 CMA의 비용함수  $J_k$ 는 다음 식 (1)과 같다.

$$J_k = \frac{1}{2} E \left[ (|y_k|^2 - y_0^2)^2 \right] \quad (1)$$

여기서  $y_k$ 는 출력신호이고,  $y_0$ 는 간섭이 없을 때의 신호이며, E는 기대값을 의미한다.

N 탭 채널 임펄스 응답을 가진 FIR 필터의 적응적 가중치 벡터를  $W_k = [w_1, w_2, \dots, w_N]$ 라 할 때, 가중치는 비용함수를 최소화시키는 방향으로 갱신하면 식 (2)와 같이 표현된다.

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

여기서  $\mu$ 는 스텝사이즈이고,  $g(w_k)$ 는 비용함수(Cost function)의 경사 측정치이고,  $e_k$ 는 에러 신호,  $X_k$ 는 입력 신호를 나타낸다.

k 번째 반복 후의 출력 신호  $y_k$ 와 에러 신호  $e_k$ 는 각각 식 (3)과 식 (4)와 같이 나타내어진다[5].

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

$$e_k = y_k (|y_k|^2 - R_2) \quad (4)$$

여기서  $R_2$ 는 고정계수로서 식 (5)와 같이 주어지며,  $s_k$ 는 송신측에서 생성되는 신호이다[6].

$$R_2 = \frac{E[s_k^4]}{E[s_k^2]} \quad (5)$$

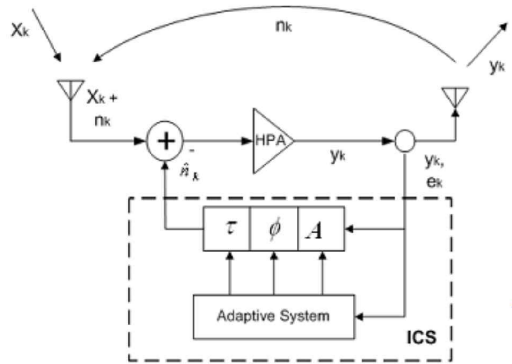


Fig. 1. The structure of ICS(Interference Cancellation System) using the adaptive control system.

그림 1. 적응제어 시스템을 적용한 간섭제거시스템 구조

그림 1은 간섭제거 시스템 구조로서 알고리즘을 적용하게 된다. 실제적인 채널 간섭신호  $n_k$ 에 대해 지연시간( $\tau$ ), 위상( $\phi$ ), 진폭( $A$ ) 등의 가변 값을 시간의 변화에 따라 적응적으로 실시간 보상에 줄 수 있도록 해준다.

### 2. 제안된 CMF 알고리즘

고정계수 방식인 CMA 알고리즘을 개선한 것으로 CMF 알고리즘은 평균 사승 에러(MFE : Mean Fourth Error)[7-9]를 최소화하는 것을 기본으로 하고 있다.

$K=1,2,\dots$ 의 정수에 대해서  $E[e_k^{4K}]$ 값을 최소화하는 데는 Widrow-Hoff 알고리즘을 사용한다.  $e_k^{4K}$ 의 경사치 벡터는 다음 식(6)과 같으며, 여기서  $e_k$ 는 에러신호이고,  $X_k$ 는 입력 신호이다.

$$\nabla_p (e_k^{4K}) = 4K e_k^{4K-1} X_k \quad (6)$$

비용함수  $J_k$ 는 식(7)과 같으며, 여기서  $R_2$ 는 고정 계수이며 CMA에서 비롯된 식이다.

$$J_k = E[(e_k)^4] = E[(|y_k|^2 - R_2)^4] \quad (7)$$

가중치 벡터의 갱신은 확률적인 경사치 알고리즘을 적용하고 있으며, 다음 식 (8)과 같다.

$$W_{k+1} = W_k - 4 \cdot \mu \nabla_p J_k = W_k - 4 \cdot \mu [\tilde{e}_{R,k} + j\tilde{e}_{I,k}]^{4K-1} X_k \quad (8)$$

여기서  $\mu$ 는 스텝 사이즈로서, 이 값에 따라 빠른 수렴과 낮은 평균 자승 에러(MSE : Mean Square Error)값을 얻을 수 있다.  $\nabla_p J_k$ 는 비용함수의 경사치이고,  $\tilde{e}_{R,k}, \tilde{e}_{I,k}$ 은 에러 신호의 실수부와 허수부이다. 에러 신호를 실수부와 허수부로 나누면 다음 식 (9)와 같이 나타낸다.

$$\begin{aligned} \tilde{e}_{R,k} &= y_{R,k} (y_{R,k}^2 - R_{2,R}) \\ \tilde{e}_{I,k} &= y_{I,k} (y_{I,k}^2 - R_{2,I}) \end{aligned} \quad (9)$$

여기서  $R_{2,R}$ 은 입력 데이터 심볼  $S_k$ 의 실수부  $S_{R,k}$ 에 의한 상수이며  $R_{2,I}$ 은 입력 데이터 심볼  $S_k$ 의 허수부  $S_{I,k}$ 에 의한 상수이며, 다음 식(10)과 같다.

$$\begin{aligned} R_{2,R} &= \frac{E[S_{R,k}^4]}{E[S_{R,k}^2]} \\ R_{2,I} &= \frac{E[S_{I,k}^4]}{E[S_{I,k}^2]} \end{aligned} \quad (10)$$

위의 식(9), 식(10)을 이용하여 식(8)에 대입하여 가중치벡터의 갱신을 구할 수 있다. CMF는 CMA와 유사하게 참값의 경사치의 값 대신에 순간의 값에 의해 경사의 측정치를 사용한다.

### III. 전산모의실험

CMF 알고리즘의 성능을 최적화하기 위하여 통계적으로 분석하였으며, 제안된 알고리즘의 성능을 기존 CMA, LMS, NLMS 알고리즘과 비교하였다.

그림 2는 시스템 구성도로서 필터 계수  $w_k$ 는 입력 신호를 사용하여 갱신하고, 에러 신호는 CMF 알고리

즘으로부터 얻어진다. 전산 모의실험에는 22 탭을 가진 FIR(Finite Impulse Response) 필터를 사용하였다.

전산 모의실험을 위한 환경 파라미터는 표 1과 같은 시스템을 상정하였다. 또한 CMA의 성능을 평가함에 있어서 빠른 페이딩과 캐환 신호가 존재하는 것을 상정하였다. 중계기에서 수신단과 송신단 사이의 채널을 Jake 페이딩 채널로 하고, 가산성 백색 가우스 잡음이 존재하는 것으로 가정하였다. 수신단과 송신단 사이에는 빠른 페이딩과 캐환 신호가 시간의 함수로 변화된다.

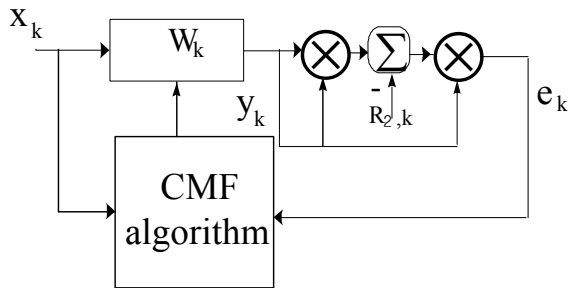


Fig. 2. System configuration  
그림 2. 시스템 구성도

Table 1. Simulation conditions.

표 1. 시뮬레이션 조건

Multiple Access	WCDMA
Frequency range[MHz]	Forward: 2,130~2,150 Reverse: 1,940~1,960
Cell radius	1km
Shadow fading standard deviation	10dB
Attenuation constant	4
User speed	3km/h
Carrier frequency	2GHz
Fast fading	Jake's 1 path fading
Power control step size	± 10dB
System time delay	8 μs
Signal to noise ratio	10 ~ 18dB

그림 3의 경우 스텝 사이즈 값을 0.001로 하였을 때 제안된 CMF 알고리즘의 MSE값을 다른 알고리즘과 비교한 결과로서, 제안된 CMF 알고리즘은 기존 CMA 알고리즘보다 평균 자승 에러율에서 5dB 높지만, 수렴속도에서는 유사하다. 또한, LMS, NLMS에

비해서는 수렴속도가 나은 상태이다. 그림 4의 경우 스텝 사이즈 값을 0.01로 하였을 때 제안된 CMF 알고리즘의 MSE값을 다른 알고리즘과 비교한 결과로서, 제안된 CMF 알고리즘은 기존 CMA, NLMS 알고리즘보다 수렴속도에서 다소 느리고, LMS 알고리즘과는 유사하다. 평균 자승 에러는 반복횟수 3800에서 -24dB로 기존 CMA알고리즘과 유사하게 나타났다.

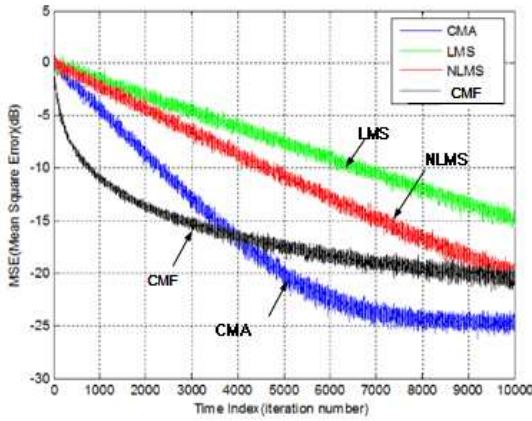


Fig. 3. Comparison of the MSE performance for CMF algorithm with other adaptive algorithms ( $\mu = 0.001$ )

그림 3. 다른 적응 알고리즘과 CMF 알고리즘의 MSE 성능 비교 ( $\mu = 0.001$ )

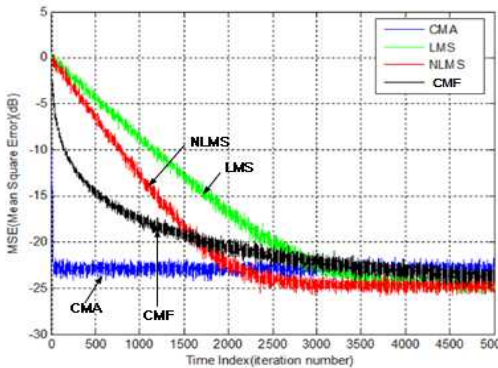


Fig. 4. Comparison of the MSE performance for CMF algorithm with other adaptive algorithms ( $\mu = 0.01$ )

그림 4. 다른 적응 알고리즘과 CMF 알고리즘의 MSE 성능 비교 ( $\mu = 0.01$ )

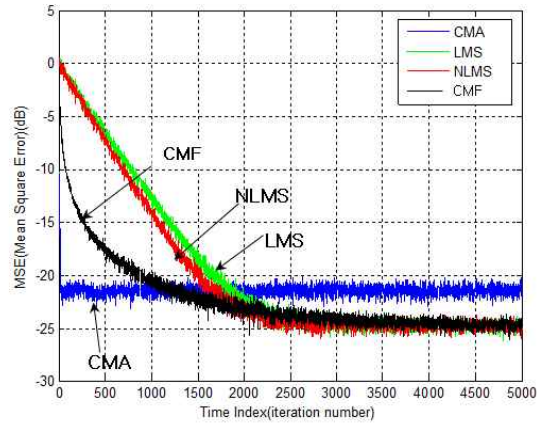


Fig. 5. Comparison of the MSE performance for CMF algorithm with other adaptive algorithms ( $\mu = 0.1$ )

그림 5. 다른 적응 알고리즘과 CMF 알고리즘의 MSE 성능 비교 ( $\mu = 0.1$ )

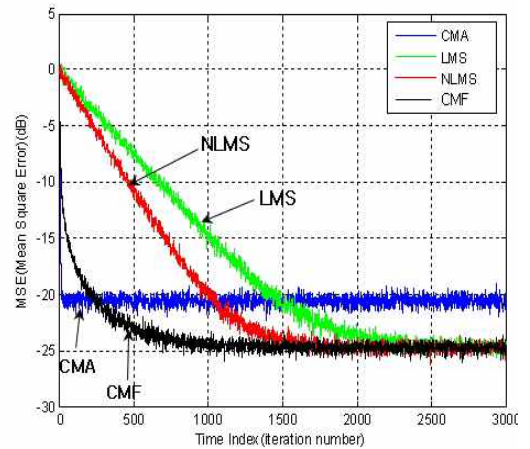


Fig. 6. Comparison of the MSE performance for CMF algorithm with other adaptive algorithms ( $\mu = 0.35$ )

그림 6. 다른 적응 알고리즘과 CMF 알고리즘의 MSE 성능 비교 ( $\mu = 0.35$ )

위의 그림 5는 스텝 사이즈 값을 0.1로 하였을 때 제안된 CMF 알고리즘의 MSE값을 다른 알고리즘과 비교한 결과이다. 즉, 제안된 CMF 알고리즘은 기존

CMA 알고리즘보다 평균 자승 에러가 반복 횟수 3500에서 약 3dB 우수한 값을 보였다. 그림 6의 경우 스텝 사이즈 값을 0.35로 하였을 때 제안된 CMF 알고리즘의 MSE값을 다른 알고리즘과 비교한 결과이다. 제안된 CMF 알고리즘은 기존 CMA 알고리즘보다 수렴속도에서는 다소 느리지만 평균 자승 에러가 반복 횟수 2500일 때 4dB 우수하게 나타났다. 평균 자승 에러 -25dB 기준으로 보았을 때 제안된 CMF 알고리즘은 NLMS와 LMS 보다 수렴속도가 400 ~ 1100 회 빠른 값으로 가장 좋은 결과 값을 가지게 되었다. CMF 알고리즘의 스텝 사이즈를 0.001에서 0.35와 비교해서는 수렴속도가 6700회, 평균 자승 에러 5dB 향상되었으며, 0.01과 비교해서는 2500회 더 빠르게 나타났으며, 평균 자승 에러도 1dB 향상되었다. 0.1에서 0.35로 변경하였을 때 평균 자승 에러는 비슷하지만 수렴속도가 약 2200회 더 빠르게 나타났다.

전체 실험한 결과를 표 2와 같이 나타내며, 결국 CMF 알고리즘은  $\mu=0.35$ 일 때 가장 적절한 스텝이므로서 다른 알고리즘에 비교해서 우수한 결과값을 가질 수 있었다.

Table 2. Comparison of mean square error and iteration number among the proposed algorithm and other algorithms. .

표 2. 제안 알고리즘과 다른 알고리즘과의 평균 자승 에러와 수렴속도 비교

알고리즘 ( $\mu=0.001$ )	CMF	CMA	LMS	NLMS
반복횟수	8000	8000	10000 이상	10000 이상
평균자승에러(dB)	-20	-25	-15	-20
알고리즘 ( $\mu=0.01$ )	CMF	CMA	LMS	NLMS
반복횟수	3800	100	3800	3000
평균자승에러(dB)	-24	-23	-24	-25
알고리즘 ( $\mu=0.1$ )	CMF	CMA	LMS	NLMS
반복횟수	3500	100	3000	3000
평균자승에러(dB)	-25	-22	-25	-25
알고리즘 ( $\mu=0.35$ )	CMF	CMA	LMS	NLMS
반복횟수	1300	100	2400	1700
평균자승에러(dB)	-25	-21	-25	-25

#### IV. 결론

기존 CMA 알고리즘을 수정하여 적절한 스텝사이즈를 가진 CMF 알고리즘을 제안하였다. 전산 모의실험 결과 제안한 알고리즘은 스텝 사이즈를 0.35로 설정할 때 평균 자승 에러 -25dB 기준으로 기존 LMS, NLMS보다 400~1100번 빠른 수렴속도를 보였으며, CMA 알고리즘보다 평균 자승 에러가 반복 횟수 2500 기준으로 4dB 더 좋은 성능을 보였다.

최근 실제 중계기에 적용하는 알고리즘은 복잡한 알고리즘보다는 기존에 성능이 좋은 간단한 알고리즘을 선호하고 있다. 결국 중계기의 효과적인 알고리즘 구현은 간단하고, 성능이 우수한 표준 FPGA(Field Programmable Gate Array)나 DSP(Digital Signal Processor)에서 실시간으로 빠르게 처리하고, 무선 환경에 원활하게 적용할 수 있는 것이 매우 중요하다.

앞으로 RF 중계기용 간섭 제거 시스템에 대한 실제 현장 실험과 병행해 더욱 더 안정적인 성능을 가지도록 연구를 진행해 나가야 할 것이다.

#### 참고문헌

- [1] 김영일 등, "IEEE 802.16 MMR 동향", *전자통신 동향분석*, 제21권, 제3호, pp. 91-99, 6월 2006년
- [2] S. J. Kim, J. Y. Lee, J. H. Kim, "Adaptive feedback interference cancelling system (AF-ICS)," *Proc. IEEE MTT-S International Microwave Symp. Dig.*, vol. 1, pp.627-630, Jun. 2003
- [3] Lattice Semiconductor Corporation, "LMS adaptive filter," *Reference Design RD 1031*, Dec. 2006
- [4] W. S. Moon, S. B. Im, "Adaptive feedback interference cancellation using correlation for WCDMA wireless repeaters," *The Institute of Electronics Engineers of Korea, Journal*, vol. 44, issue 7, July, 2007
- [5] J. -C. Lin, "Blind equalization technique based on an improved constant modulus adaptive algorithm," *IEE Proceedings Communications*, vol. 49, no.1, pp.45-50, Feb. 2002
- [6] 전영섭, 선우명훈, 김경호, "CMA 알고리즘을 이용한 고속 DFE 등화기 설계," *대한 전자공학회 논문지*, vol. 39, no. 4, pp.9-15, 2002
- [7] E. Walach and B. Widrow, "The Least Mean Fourth (LMF) Adaptive Algorithm and its Family,"

*IEEE Trans. Inf Theory*, vol. IT30, pp.275-283, Feb. 1984

[8] P. I Hubscher and J. C. M. B, "An Improved Statistical Analysis of the Least Mean Fourth (LMF) Adaptive Algorithm," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 51, no.3, pp.664-671, Mar. 2003

[9] W. Karen Egiazarian and Pauli Kuosmanen, "Variable step-size LMS adaptive filters for CDMA multiuser detection," *IEEE TELSIS Serbia and Montenegro*, 1-3, pp259-264, Oct. 2003

## 저 자 소 개

### 한 용 식 (정회원)



1994년 : 경일대학교 전자공학과 (공학사)

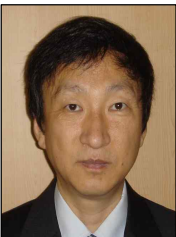
2003년 : 영남대학교 정보통신공학과 (공학석사)

2011년 : 인천대학교 전자공학과 (공학박사)

2010년 ~ 현재: 아이티에스 기술 연구소 선임연구원

<주관심분야> 이동무선 통신 시스템, 간섭 제거 증계기, 전자파

### 양 윤 근 (정회원)



1983년 : 서울대학교 전자공학과 (공학사)

1985년 : 서울대학교 전자공학과 (공학석사)

1994년 : 서울대학교 전자공학과 (공학박사)

1988년 3월~현재: 인천대학교 전자공학과 전임강사, 조교수, 부교수, 교수

1997년 3월~2001년 12월, 2004년 2월~2005년 1월: (주) LG전자(구 (주)LG정보통신 포함) 자문교수  
2000년: 한국통신학회 산하 부호 및 정보이론연구회 위원장

2001년 5월~2002년 2월: 한국전자통신연구원 무선방송연 구소 초빙연구원

2003, 2004, 2005년도: 세계인명사전 마르퀴즈 "Who's Who in the World" 등재

2005년~2006년도: 세계인명사전 마르퀴즈 "Who's Who in Science and Engineering" 등재

<주관심분야> 이동 통신 단말기, 안테나, 전자파 비흡수율