

<https://doi.org/10.7236/IIBC.2018.18.6.113>

IIBC 2018-6-14

Adaptive Modulus를 이용한 NM-MMA 적응 등화 알고리즘의 성능 개선

A Performance Improvement of NM-MMA Adaptive Equalization Algorithm using Adaptive Modulus

임승각*

Seung-Gag Lim*

요약 본 논문은 NM-MMA (Novel Mixed-Multi Modulus Algorithm) 알고리즘에서 고정 modulus 대신 adaptive modulus를 이용한 적응 등화 성능을 개선시킨 AM-NM-MMA (Adaptive Modulus-NM-MMA)에 관한 것이다. NM-MMA는 MMA의 정상 상태에서 적은 잔여량을 얻는 대신 수렴 속도가 느리며, SE-MMA는 수렴 속도가 빠르지만 잔여량이 증대되는 성능을 절충시키기 위해 등장하였다. 그러나 고정 modulus를 이용하므로 완전 등화 상태에서도 잔여량이 0이 되지 않아 등화 성능이 열화되므로 이를 개선하기 위하여 논문에서는 adaptive modulus를 적용하였으며, 이의 개선된 성능을 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 이를 위하여 등화 성능 지수로 등화기 출력 정상도, 잔류 isi, MD, MSE 및 SER 성능을 적용하였다. 컴퓨터 시뮬레이션의 결과 AM-NM-MMA는 NM-MMA보다 등화 출력 신호의 정상도, 잔류 isi, MD, MSE에서 수렴 속도와 잔여량에서는 우월하였으나, SER 성능에서는 열화됨을 확인하였다.

Abstract This paper relates the AM-NM-MMA algorithm which possible to adaptive equalization performance improvement using the adaptive modulus instead of fixed modulus in the NM-MMA algorithm. The NM-MMA emerged for the tradeoff the MMA and SE-MMA algorithm characteristics, the MMA provides the less residual values in the steady state and have a slow convergence rate, the SE-MMA provides the fast convergence rate and increase the residual values in the steady state. But the fixed modulus can not give the zero residual values in the perfect equalization state and equalization performance were degrade, the adaptive modulus was applied in order to reducing the residual values, and its improved performance were confirmed by simulation. For this, the equalizer output constellation, residual isi, MD, MSE, SER were used for performance index. As a result of computer simulation, the AM-NM-MMA has more good performance in equalizer output signal constellation, residual isi, MD, MSE than the NM-MMA, but not in SER performance.

Key Words : MMA, SE-MMA, NM-MMA, residual isi, scaling factor, SER

1. 서론

지난 수년 동안 무선 멀티미디어 통신에서 디지털 이

미지 및 비디오 같은 멀티미디어 데이터를 전송하는 이동 채널에서 대역폭 제한과 부호간 간섭 같은 손상을 해결하기 위하여 많은 연구가 이루어졌다. 이와 같은 환경

*정희원, 공주대학교 정보통신공학부 정보통신공학 전공
접수일자: 2018년 9월 10일, 수정완료: 2018년 11월 6일
게재확정일자: 2018년 12월 7일

Received: 10 September, 2018 / Revised: 6 November, 2018 /
Accepted: 7 December, 2018

*Corresponding Author: sglim@kongju.ac.kr

Dept. of Information and Communication, Kongju National University, Korea

에서 다중 경로 전파에 의한 부호간 간섭 영향을 극복하기 위하여 다양한 채널 부호화 및 등화기 기법이 등장하였으며, 최근에는 space-time coding과 OFDM이 심볼 오류율을 최소화하며 전송율을 높일 수 있는 강력한 기술로 각광받고 있다^[1]. 이와 같은 통신 시스템에서 성능 개선을 위하여 송신 전력의 증가없이 분산 채널에 의해 발생하는 부호간 간섭을 제거하는 blind 적응 등화가 널리 사용된다. 전통적인 등화 기법은 사용 가능한 채널 대역폭과 할당된 자원을 낭비하는 학습열 신호의 전송에 의존하지만, blind 적응 등화기를 사용하는 주된 이유는 송수신국에서 학습열 사용이 불가능한 경우 고려될 수 있는 대안이며^{[2][6]}, 대표적인 blind 방식_알고리즘으로는 CMA (Constant Modulus Algorithm)가 있다. CMA는 간단한 연산으로 실시간 응용 및 robust성이 우수하지만 진폭만 보상이 가능하며 위상은 불가능하므로, 이를 보완한 MMA (Multi-Modulus Algorithm)가 등장하였다. MMA는 진폭과 위상의 동시 보상 능력과 등화 안정성이 CMA보다 우월하지만 등화기의 수렴 속도가 늦어지며 연산량이 증가된다. 이후 MMA의 연산량을 줄일 수 있도록 SE-MMA (Signed Error-MMA)가 등장하여 MMA의 수렴 속도는 개선하였지만 연산량을 줄이므로 잔여량과 같은 등화 성능이 열화된다^{[3][4]}.

본 논문에서는 MMA의 느린 수렴 속도와 SE-MMA의 열화되는 등화 성능을 개선시키기 위해 이들의 비용 함수를 scaling factor 가중치 합으로 조합하는 NM-MMA (Novel Mixed-MMA) 알고리즘에서 고정 modulus 대신 adaptive modulus를 적용시킨 AV-NM-MMA 알고리즘의 개선된 등화 성능을 시뮬레이션을 통해 확인한다. 논문의 구성으로 2장은 적응 등화기를 사용하는 시스템 기저 대역 모델, 관련 알고리즘인 MMA, SE-MMA와 NM-MMA를 소개하며 adaptive modulus 개념과 AV-NM-MMA에 대해 설명한 후, 3장은 시뮬레이션 환경과 결과를 제시한 후, 4장에서는 결론을 내리겠다.

II. 본 론

1. 통신 시스템 모델

일반적으로 적응 등화기를 갖는 통신 시스템의 기저 대역 모델을 그림 1에 나타내었다. 송신측에서 신호 $s(k)$ 는 부호간 간섭등의 비선형 효과를 발생시키는 응

답이 $h(k)$ 인 채널을 통하여 수신측에 전달되며, 이 과정에서 잡음 $n(k)$ 가 추가된다. 수신측의 수신 신호 $r(k)$ 는 임펄스 응답이 $f(k)$ 인 등화 필터에 인가되어 부호간 간섭을 최소화시킨 후 결정 장치를 통해 송신 신호의 추정치 $\hat{s}(k)$ 를 얻게 된다. 이때 이상적인 등화 필터의 전달 함수는 이론적으로 통신 채널 전달 함수의 역 관계를 갖게 된다. 등화 필터의 전달 함수를 결정하는 계수 $f(k)$ 는 적응 알고리즘에서 송신 신호의 modulus 및 등화기 출력 신호 $z(k)$ 를 이용한 오차 신호를 발생하여 새로운 필터 계수 $f(k+1)$ 을 얻게 된다. 이와 같은 과정을 시간 영역에서 나타내면 다음과 같다.

$$z(k) = [s(k)*h(k) + n(k)]*f(k) \quad (1)$$

$$= [s(k)*h(k)*f(k)] + n(k)*f(k)$$

여기서 *는 선형 convolution을 나타내며 $n(k)*f(k)$ 는 상호 독립적이므로 0에 가까우며, $h(k)*f(k) = \delta(k)$ 의 관계가 있으므로 지연을 무시하면 $\hat{s}(k) \approx s(k)$ 가 된다.

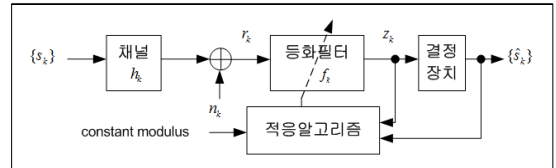


그림 1. 통신 시스템 모델
Fig. 1. Communication system model

2. MMA 알고리즘

그림 1의 모델에서 등화기 필터의 차수를 N 이라고 하면 필터 계수와 등화기 입력 벡터는 다음과 같다.

$$F(k) = [f(0) f(1) f(2) \dots f(N-1)]$$

$$R(k) = [r(k) r(k-1) r(k-2) \dots r(k-N+1)] \quad (2)$$

MMA는 RCA와 CMA를 조합한 방식으로, RCA는 송신 신호의 2차 통계치만을 이용하여 진폭과 위상의 동시 보상이 가능하며 응용이 용이하지만, 초기 수렴이 보장되지 못하고 misadjustment에 의한 등화 잡음이 커진다. 반면 CMA는 송신 신호의 2차 및 4차 통계치를 이용하며 응용이 용이하지만 진폭만 보상 가능하고 단일 modulus에 의한 SER 성능이 열화된다. 그러나 MMA는 multiple

modulus로 확장하여 등화기 출력에 비례하는 신호점의 각 subset에 이들 multiple modulus 중 1개에 투영시킨다. 또한 비용 함수에서 등화기 출력의 실수와 허수부를 고려하므로 채널에 의한 진폭과 위상 찌그러짐 및 constellation 회전 특성과 SER 성능을 개선할 수 있지만 연산량이 증가된다. 특히 스펙트럼 효율이 높은 고차 QAM 신호에 대해서는 MMA가 CMA보다 우월한 수렴 특성 및 정상 상태에서 misadjustment에 의한 영향이 적다. MMA의 비용 함수와 오차 함수는 식(3)과 같이 정의된다.

$$J_{MMA} = E\{(|z_{kr}|^2 - R_{MMA}^2)^2 + (|z_{ki}|^2 - R_{MMA}^2)^2\} \quad (3)$$

$$R_{MMA}^2 = \frac{E\{|s_{kr}|^4\}}{E\{|s_{kr}|^2\}} = \frac{E\{|s_{ki}|^4\}}{E\{|s_{ki}|^2\}}$$

$$\overline{e_{kMMA}} = z_{kr} (|z_{kr}|^2 - R_{MMA}^2) + j z_{ki} (|z_{ki}|^2 - R_{MMA}^2)$$

여기서 R_{MMA}^2 를 constant modulus라고 하며 등화기의 출력이 modulus 주위에 위치하도록 계수 f_k 를 갱신한다.

$$f(k+1) = f(k) - \mu \overline{e_{kMMA}} R(k)^* \quad (4)$$

3. SE-MMA 및 NM-MMA 알고리즘

SE-MMA는 MMA의 연산량이 증가되는 문제점을 해결하기 위해 식(3)에서 오차 신호 $\overline{e_{kMMA}}$ 의 부호만을 이용하여 필터 계수의 갱신에 사용하며, 비용 함수와 오차 신호는 다음과 같다.

$$J_{SE-MMA} = E\{(|z_{kr}|^2 - R_{MMA}^2)^2 + (|z_{ki}|^2 - R_{MMA}^2)^2\} \quad (5)$$

$$\overline{e_{kSE-MMA}} = \text{sgn}[z_{kr} (|z_{kr}|^2 - R_{MMA}^2)] + j \text{sgn}[z_{ki} (|z_{ki}|^2 - R_{MMA}^2)]$$

여기서 sgn은 signum 함수를 나타내며, MMA 또는 SE-MMA 알고리즘에서는 등화 필터의 출력 z_k 는 복소 평면에서 4개의 점 $\pm R_{MMA} \pm j R_{MMA}$ 주위로 존재하도록 탭 계수를 갱신하게 된다. SE-MMA는 적응 필터의 탭 계수를 위한 갱신식은 다음과 같다.

$$f(k+1) = f(k) - \mu \overline{e_{kSE-MMA}} R(k)^* \quad (6)$$

여기서 적응 상수가 고정될 때 탭 갱신을 위한 오차 함수를 곱하는 과정에서 단순히 부호만을 고려하므로 연산량을 줄일 수 있게 되어 실시간 응용이 용이하며 수렴 속도를 개선시킬 수 있지만 등화 성능에서 MSE가 증가되며 그림 2는 SE-MMA의 내부 구조를 나타낸 것이다.

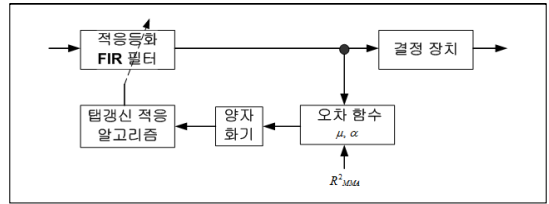


그림 2. SE-MMA의 구조
 Fig. 2. Structure of SE-MMA

이와 같이 MMA의 수렴 속도를 개선하고 SE-MMA의 MSE를 줄이기 위하여 constant modulus 비용 함수와 signed constant modulus 비용 함수를 조합한 NM-MMA가 등장하였다.

$$J_{NM-MMA} = k_1 J_{MMA}(k) + k_2 J_{SE-MMA}(k) \quad (7)$$

여기서 $0 \leq k_1 < 1$, $0 \leq k_2 < 1$ 은 scale factor를 나타내며 $k_1 + k_2 = 1$ 이 되어야 한다. 식 (7)을 mixed 비용 함수라고 하며, MMA와 SE-MMA 비용 함수의 gradient vector를 이용하여 탭 계수 갱신에 이용되며, 이들은 다음과 같다.

$$f(k+1) = f(k) - \mu \nabla_{NM-MMA}(k) R(k)^* \quad (8)$$

$$= f(k) - \mu [k_1 (|z(k)|^2 - R_{MMA}^2) + k_2 \text{sgn}[z(k)(|z(k)|^2 - R_{MMA}^2)]] R(k)^*$$

그림 3은 NM-MMA의 내부 구성도를 나타낸 것으로 오차 함수를 이용하여 탭 갱신 적응 알고리즘을 위하여 MMA 비용 함수를 k_1 배, SE-MMA 비용 함수를 k_2 배 scaling한 후 이들을 조합시켜 탭 갱신 적응 알고리즘에서 이용하고 있다.

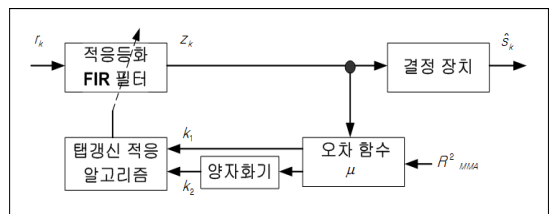


그림 3. NM-MMA의 구조
 Fig. 3. Structure of NM-MMA

4. Adaptive Modulus 개념

MMA와 SE-MMA에서 오차 함수를 나타내는 식 (3)과 (5)에서 constant modulus R_{MMA}^2 를 등화기 출력에 비

레하는 adaptive modulus 개념이 등장하였다. 완전 등화 상태에서도 오차 함수는 0이 되지 못하여 최적치값 주위에서 미세한 요동의 원인인 misadjustment가 발생되므로 이를 줄여 등화 성능을 개선할 수 있다.

adaptive modulus에서는 등화기 출력의 실수와 허수부는 그림 4와 같이 해당 실수부와 허수부에 가장 유사한 maximum likelihood 원칙을 적용하여 적응적으로 할당한다. 그림에서 zone 1과 zone 2에 속하는 z_{R-1}, z_{R-2} 는 신호점의 실수축에 대한 점이며, z_{I-1}, z_{I-2} 는 신호점의 허수축에 대한 점이다. 그림에서 “o”와 같은 등화기 출력을 얻었다면, 실수축에 대해서는 zone 2에 속하며, 허수축에 대해서도 zone 2에 속하게 되어 modulus를 적응적으로 변화시키게 된다. 16-QAM 신호에서 이와 같은 개념을 적용한 adaptive varying modulus는 다음의 식(9)와 같다.

$$\begin{aligned} \text{If } z_{Rk} \in Z_{R-1} \text{ then } AM(R_{MMA}^2) &= 0.3153 \\ \text{If } z_{Rk} \in Z_{R-2} \text{ then } AM(R_{MMA}^2) &= 0.946 \\ \text{If } z_{Ik} \in Z_{I-1} \text{ then } AM(R_{MMA}^2) &= 0.3153 \\ \text{If } z_{Ik} \in Z_{I-2} \text{ then } AM(R_{MMA}^2) &= 0.946 \end{aligned} \quad (9)$$

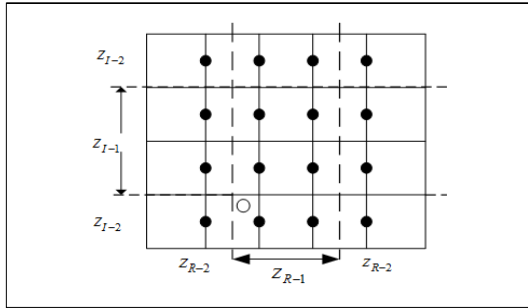


그림 4. 16-QAM에서 Likelihood zone
Fig. 4. Likelihood zone of 16-QAM

5. AM-NM-MMA 알고리즘

AM-NM-MMA는 MMA의 수렴 속도를 개선하고 SE-MMA의 열화되는 등화 성능을 줄이기 위해 등장한 NM-MMA에 adaptive modulus를 조합시킨 알고리즘을 말한다. 따라서 NM-MMA는 기존 MMA 비용 함수와 SE-MMA 비용 함수를 조합한 mixed 비용 함수는 다음과 같이 된다.

$$J_{NM-MMA} = k_1 J_{MMA}(k) + k_2 J_{SE-MMA}(k) \quad (10)$$

여기서 $0 \leq k_1 < 1$, $0 \leq k_2 < 1$ 은 scaling factor로서 $k_1 + k_2 = 1$ 이 되어야 하며, AM-NM-MMA의 탭 계수 갱신은 MMA와 SE-MMA 비용 함수의 gradient vector를 scaling factor하여 수행된다. 이를 수식으로 쓰면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} f(k+1) &= f(k) - \mu \nabla_{NM-MMA}(k) R(k)^* \\ &= f(k) - \mu [k_1 (|z(k)|^2 - AM(R_{MMA}^2)) + \\ &\quad k_2 \text{sgn}[z(k)] (|z(k)|^2 - AM(R_{MMA}^2))] R(k)^* \end{aligned} \quad (11)$$

식 (11)에서 $AM(R_{MMA}^2)$ 은 식 (9)에서 나타낸 adaptive modulus를 의미하고, 그림 5는 AM-NM-MMA의 내부 구성도를 나타낸 것으로 MMA와 SE-MMA의 2 가지 오차 함수를 이용한 mixed 비용 함수의 gradient vector를 얻기 위해 MMA 비용 함수를 k_1 배, SE-MMA 비용 함수를 k_2 배 scaling한 후 이들을 조합시켜 탭 갱신 적응 알고리즘에서 이용하고 있다.

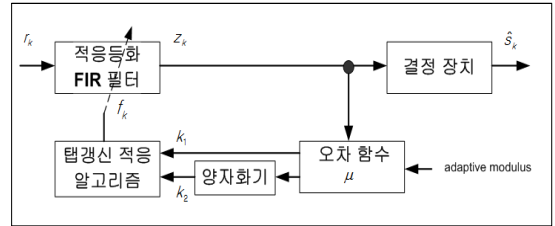


그림 5. AM-NM-MMA의 구조
Fig. 5. Structure of AM-NM-MMA

III. 컴퓨터 시뮬레이션 및 결과

adaptive modulus를 이용한 AM-NM-MMA 적응 등화 알고리즘 성능을 constant modulus를 이용한 NM-MMA와 비교하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 동일한 채널과 스텝 크기 및 신호대 잡음비를 30dB로 설정한 후, 송신 신호로는 대역폭 효율이 높은 16-QAM 신호를 사용하였다. 스텝 크기 μ 는 0.0007이며, scaling factor k_1, k_2 의 값을 0.9와 0.1이었다. 그림 6은 부호간 간섭을 발생시키는 통신 채널의 임펄스 응답을 나타낸 것이며, 그림 7은 전체적인 신호 처리 과정을 나타낸 것이다.

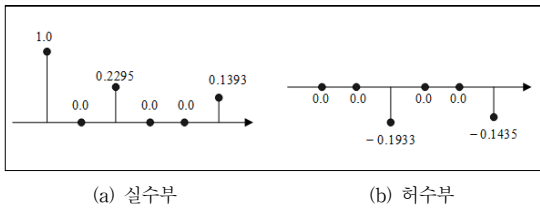


그림 6. 채널의 임펄스 응답 계수
 Fig. 6. Impulse response coefficient of channel

신호 처리를 위해서는 MMA 알고리즘과 SE-MMA 알고리즘의 비용 함수 J_{MMA}, J_{SE-MMA} 를 얻은 후, scaling factor값을 적용한 mixed 비용 함수 J_{NM-MMA} 를 얻었다. 이때 constant modulus를 등화기 출력에 비례하는 adaptive modulus를 적용하였다. 이와 같은 과정을 통해 부호간 간섭이 존재하는 수신 신호를 적응 등화하면서, 이의 성능을 외부 지수인 등화기 출력 성상도, SER 및 내부 지수인 잔류 isi와 MD (Maximum Distortion), MSE를 적용하면서 정성적, 정량적인 비교하였다.

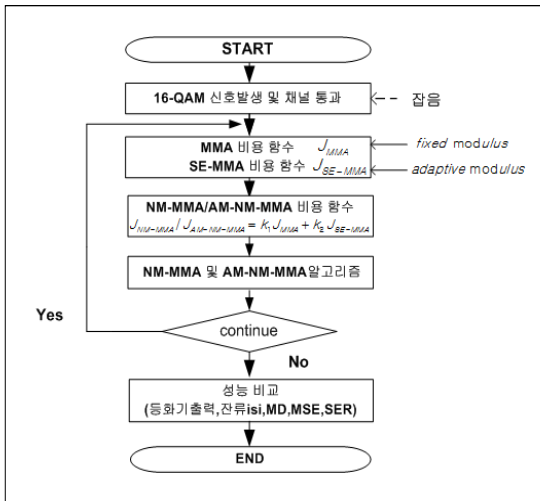


그림 7. 신호 처리 과정
 Fig. 7. Signal processing flow

그림 8은 이들 알고리즘을 적용할 때 첫 번째 외부 성능 지수인 정상 상태에서의 적응 등화기 출력 신호 성상도를 나타낸 것이다. 성상도에서는 알고리즘이 부호간 간섭을 줄이면서 신호점 16개의 군집 능력을 알 수 있으며, 각 신호점의 폭은 좁고 신호점간 거리는 멀수록 심볼 오류율을 줄일 수 있게 되어 등화 성능이 우월함을 알 수 있다. 이런 관점에서 AM-NM-MMA가 NM-MMA보다

신호점의 폭은 좁고 신호점간 거리가 멀어지게 되어 성능이 개선됨을 정성적으로 알 수 있다.

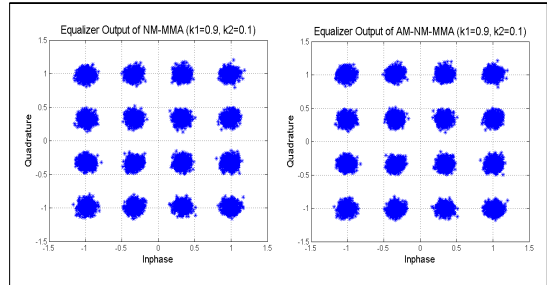


그림 8. 출력 신호의 성상도
 Fig. 8. Output signal constellation

내부 성능을 비교하기 위하여 잔류 isi, MD, MSE가 있으며, 이들에서는 초기의 과도 과정을 지나 특정한 레벨의 정상 상태에 도달할 때까지의 수렴 속도와 그 이후의 잔여량을 알 수 있다. 먼저 잔류 isi는 이론적으로 완전 등화 상태에서 채널과 등화기의 종합 특성이 임펄스가 되어야지만 실제적으로 완전 임펄스가 아닌 잔여 성분이 존재하므로 이들의 전력을 나타내며, MD는 잔여 성분들의 전압을 나타낸다. MSE는 결정 장치에서 “1”과 “0”을 판별할 때 발생하는 진폭의 오차양을 나타낸다. 그림 9과 10, 11은 잔류 isi와 MD 및 MSE 성능을 각각 나타낸 것으로, 이들 3가지 지수에서 adaptive modulus를 적용한 AM-NM-MMA가 fixed modulus를 적용한 NM-MMA보다 기울기가 심하여 수렴 속도가 빠르며 잔여량에서도 감소함을 알 수 있다. 잔류 isi에서 -20dB의 정상 상태에 도달하는데 NM-MMA는 2963회, AM-NM-MMA는 2380회가 필요하며, MD에서 0.3의 정상 상태에 도달하는데 NM-MMA는 3893회, AM-NM-MMA는 2807회가 소요되었다. MSE에서 -20dB의 정상 상태에 도달하는데 NM-MMA는 3698회, AM-NM-MMA는 2739회가 필요함을 알 수 있었다. 따라서 수렴 속도에서 AM-NM-MMA가 NM-MMA보다 1.25~1.35배 개선됨을 확인하였으며, 정상 상태 이후의 잔여량에서도 AM-NM-MMA가 NM-MMA보다 개선됨을 정성적으로 확인하였다.

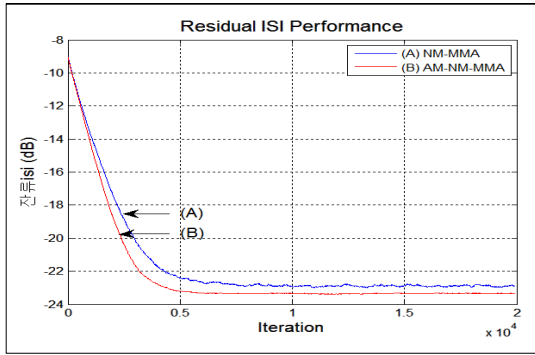


그림 9. 잔류 isi 성능
Fig. 9. Residual isi performance

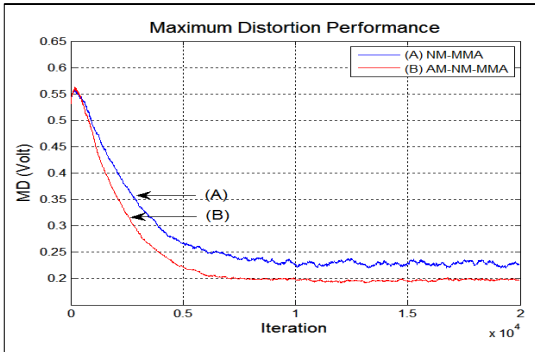


그림 10. MD 성능
Fig. 10. MD performance

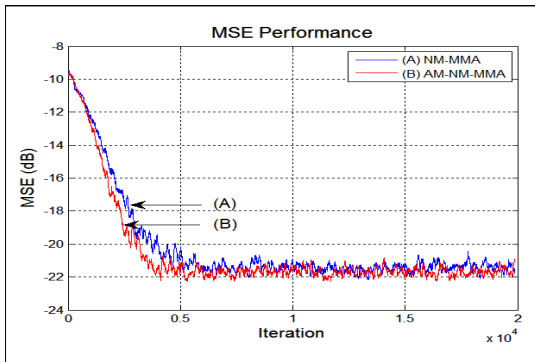


그림 11. MSE 성능
Fig. 11. MSE performance

그림 9, 10, 11에서 정상 상태 (잔류 isi는 -20dB, MD는 0.3, MSE는 -20dB로 설정) 이후의 정량적인 평균 잔여량을 표 1에 나타내었다. adaptive modulus를 적용하므로써 fixed modulus를 이용한 기존 NM-MMA보다 잔여량을 평균 0.25~1.2dB 정도 개선시킬 수 있다.

표 1. 성능 지수의 통계치

Table 1. Statistics of performance index

	NM-MMA	AM-NM-MMA
잔류 isi (dB)	-22.67	-23.19
MD	-12.52	-13.73
MSE (dB)	-21.3	-21.55

마지막 성능 지수로는 알고리즘의 잡음에 대한 강인성을 확인하기 위한 심볼 오류율 (SER) 성능을 그림 12에 나타내었다. 모든 SNR에서 fixed modulus를 사용하는 NM-MMA가 adaptive modulus의 AM-NM-MMA보다 잡음에 대한 강인성을 가짐을 확인하였다. 부호간 간섭 제거 능력과 관련된 내부 성능 지수와 비교할 때 잡음에 대한 강인성의 외부 성능 지수에서 adaptive modulus 방식이 취약하므로 외부 부가 잡음이 크거나 간섭같은 외부 전파 환경이 열악한 경우 별도의 대책이 필요하다.

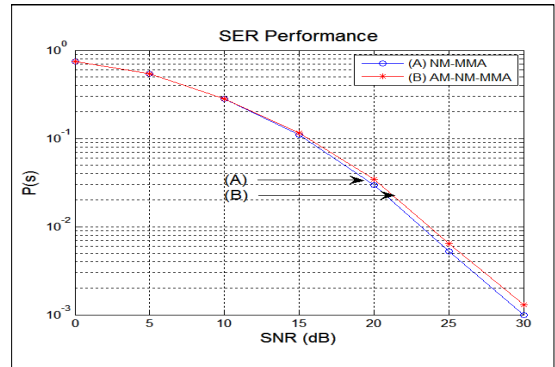


그림 12. SER 성능
Fig. 12. SER performance

V. 결론

논문에서는 fixed modulus를 사용하는 NM-MMA 적응 등화 알고리즘에서 등화기 출력에 비례하는 adaptive modulus를 사용하는 AM-NM-MMA 알고리즘을 제안하고 이의 성능을 비교하였다. NM-MMA는 기존 MMA와 SE-MMA 비용 함수를 scaling factor한 mixed 비용 함수를 가지므로, 이 값을 0.9와 0.1로 사용하였다. 이들의 성능 비교 결과 AM-NM-MMA는 NM-MMA보다 등화기 출력 신호 정상도, 잔류 isi, MD 및 MSE의 잔여량에서 0.25~1.2dB 정도와 수렴 속도도 1.2~1.4배 정도 개선할 수 있음을 확인하였다. 또한 잡음에 대한 강인성을

나타내는 SER 성능은 AM-NM-MMA가 NM-MMA보다 열화되었다. 본 연구 결과 AM-NM-MMA 알고리즘은 부호간 간섭 제거 능력을 나타내는 등화기 내부 성능 지수에서는 우월하지만, 외부 잡음 또는 간섭 제거 능력이 열화하므로 이를 보완하여 제공 서비스의 QoS를 만족시킬 수 있는 지속적인 연구가 필요할 것이다.

References

- [1] D.N.Godard, "Self-recovering equalization and carrier tracking in two-dimensional data communication systems", IEEE Trans. Com., Vol.28, pp.1867~1875, Nov. 1980.
DOI : 10.1109/TCOM.1980.1094608
- [2] J.Yang, J.J.Werner and G.A.Dumont, "The multi-modulus blind equalization algorithm", 13th Int. conf. of DSP, Vol. 1, pp.127~140, 2-4 July, 1997.
DOI : 10.1109/ICDSP.1997.627988
- [3] Wen si-yuan, Liu Feng, "A Computationally Efficient Multi-modulus Blind Equalization Algorithm", 2nd IEEE Int. conf. of Infor. Eng. and Management, pp.685~687, 2010.
DOI : 10.1109/ICIME.2010.5478261
- [4] V.Weerackody, S.A.Kassam, K.R.Laker, "A simple hard-limited adaptive algorithm for blind equalization", IEEE Trans. on Circuits and System, Vol.39, No.7, pp.482~487, July 1992.
DOI : 10.1109/82.160173
- [5] Yecai Guo, Juwei Zhao, "A Novel Mixed Constant Modulus Blind Equalization Algorithm", 7th Int. conf of ICSP'04, pp.319~322, 2004.
- [6] S.G. Lim, D.S. Kang, "Performance of SE-MMA Blind Equalization Algorithm in QAM System", Jour. of IIBC., Vol.13, No.3, pp.63~69, June 2013.
- [7] G. Im, C. Park, H. Won, "A Blind Equalization with the Sign Algorithm for Broadband Access", IEEE Com. Letter, Vol.5, No.2, pp.70~72, Feb. 2001.
- [8] S.G.Lim, "A Performance Variation by Scaling Factor in NM-MMA Adaptive Equalization Algorithm", Jour. of IIBC., Vol.18, No.2, pp.103~110, April 2018.
- [9] S.G.Lim, "A Performance Improvement of SE-MMA Adaptive Equalization Algorithm using Adaptive Varying Modulus", Jour. of IIBC., Vol.18, No.2, pp.79~84, Feb. 2018.
- [10] S.G.Lim, "Performance Analysis of NM-MMA Adaptive Equalization Algorithm in Nonconstant Modulus Signal", Jour. of IIBC., Vol.17, No.2, pp.113~118, Feb. 2017

저자 소개

임 승 각(정회원)



- 1983년 숭실대학교 전자공학과 학사 졸업.
- 1985년 경희대학교 전자공학과 석사 졸업.
- 1997년 경희대학교 전자공학과 박사 졸업.
- 2005년 현재 공주대학교 정보통신공학부 교수.

<주관심분야 : 방송/통신 시스템, 이동통신>

※ "이 논문은 2018년 공주대학교 학술연구지원사업의 연구지원에 의하여 연구되었음"

This work was supported by the research grant of the Kongju National University in 2018