

<http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2013.13.3.63>

JIIBC 2013-3-9

QAM 시스템에서 SE-MMA 블라인드 적응 등화 알고리즘의 성능

Performance of SE-MMA Blind Adaptive Equalization Algorithm in QAM System

임승각*, 강대수**

Seung-Gag Lim, Dae-Soo Kang

요약 본 논문은 대역폭 제한과 시분산 특성을 갖는 비선형 통신 채널에서 부호간 간섭을 경감시킬 수 있는 MMA (Multiple Modulus Algorithm) 블라인드 등화 알고리즘의 연산량을 더욱 간소화시킨 SE-MMA (Signed-Error MMA)의 성능에 관한 것이다. training sequence 없이도 채널에서 발생하는 부호간 간섭의 진폭과 위상 회전을 동시에 경감시킬 수 있는 MMA 알고리즘에서 등화기 출력 신호와 송신 신호의 통계적 특성인 Constant Modulus간의 오차 신호를 이용하지만, SE-MMA 알고리즘에서는 오차 신호의 극성만을 이용하게 되어 탭 계수의 갱신을 위한 연산량을 줄일 수 있으며, 이를 H/W 구현하는 경우 단순화할 수 있게 된다. SE-MMA 알고리즘의 성능을 기존의 MMA 알고리즘과 비교하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였으며, 이를 위해 수신측에서의 등화기 출력 신호인 복원된 신호 성상도, 수렴 성능을 나타내는 성능 지수인 MSE, MD (Maximum Distortion) 및 잔류 isi 특성 곡선과 SER을 사용하였다. 시뮬레이션 결과 수렴 속도에서는 SE-MMA가 MMA 보다 빠른 성능을 얻었지만, 정상 상태 이후 성능 지수의 양에서는 열악해짐을 확인하였다.

Abstract This paper related with the performance of SE-MMA (Signed-Error MMA) that is the reduction of computational operation number in algorithm than MMA blind equalization algorithm which are possible to elimination of intersymbol interference in the band limited and time dispersive nonlinear communication channel. In MMA algorithm which are possible to reduction of amplitude and phase rotation by intersymbol interference that is occurred in channel without using the training sequence, it uses the error signal that is the difference of the equalizer output and constant modulus, the statistically characteristic of transmitted signal. But in SE-MMA, it uses the polarity of the error signal, then it is possible to reduce the updating the tap coefficient and to simplify the H/W implementation. The computer simulation were performed in order to compare the performance of SE-MMA and conventional MMA algorithm. For this, the recovered signal constellation that is the output of the equalizer, the convergence performance by MSE, MD (maximum distortion) and residual isi characteristic learning curve, SER were used. As a result of simulation, the SE-MMA has more fast convergence speed than the MMA. But in the other index after reaching the steady state, it gives more worst performance values in the used index.

Key Words : MMA, SE-MMA, Residual ISI, Intersymbol Interference, MSE

*정회원, 공주대학교 정보통신공학부 정보통신공학

Received: 22 March 2013 / Revised: 27 May 2013 /

**정회원, 공주대학교 정보통신공학부 정보통신공학 (교신저자)

Accepted: 14 June 2013

접수일자 : 2013년 3월 22일, 수정완료 : 2013년 5월 27일

**Corresponding Author: dskang@kongju.ac.kr

게재확정일자 : 2013년 6월 14일

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

I. 서 론

최근 정보 통신 기술의 보편화, 지능화 및 고도화에 따라 전송코자 하는 정보는 폭증하고 있지만, 이를 효율적으로 전송할 수 있는 기술 중에서 전송 선로의 기술이 가장 느리게 발전되고 있다. 고속, 광대역의 특성을 갖는 선로는 광케이블을 들 수 있지만, 아직까지도 고비용의 한계를 극복하지 못하고 있으며, 최근 주파수에 의한 이동 전송의 수요가 언제, 어디서나, 어떤 정보라도 제약 없이 보낼 수 있으므로 늘고 있다. 이동 통신을 위한 통신 채널 환경의 경우 대역 제한, 다중 경로에 의한 레일리 페이딩, 지연 확산(delay spread)에 의한 시분산 특성과 순단(outage)등 정보의 고속, 광대역 전송을 위해서는 장애 요인들이 존재한다. 이를 위하여 효율적인 신호 방식, 디지털 변복조 방식과 신호 처리 기술들이 등장하고 있지만, 아직까지 유선 매체에 비하면 매우 느리게 발전하고 있다. 이와 같은 대역폭 제한된 채널에서 고속 정보 전송을 위해서는 대역폭 효율적인 신호와 전송 방식을 사용하는 것이 필요케 되어, 고차(high order) QAM 신호와 블라인드 적응 등화기가 사용된다. 블라인드 등화를 위한 알고리즘의 시초로는 CMA(Constant Modulus Algorithm)를 들 수 있으며, 적응 등화를 위하여 등화기 출력과 일정한 modulus간의 차이로 정의되는 오차 함수 또는 비용 함수를 최소가 되도록 갱신하게 된다. 여기서 비용 함수는 복소수의 절대치만을 취하는 진폭만으로 구성되므로 출력 신호의 성상도가 constant modulus 특성을 갖도록 모든 신호의 진폭만을 보상한다. 반면 위상에 대해서는 PLL과 같은 별도의 위상 보정용 장치를 사용해야하므로, 진폭과 위상의 동시 보상이 가능한 다양한 알고리즘이 등장하였으며 MMA(Multiple Modulus Algorithm)를 들 수 있다. MMA는 등화기의 출력 전력에 따라 각 신호 성상도상의 점에 대해 modulus를 multiple로 할당하므로 CMA에 비하여 MMA의 진폭 보상 능력을 열화되지만, 위상 복원 능력을 갖는다. 논문에서는 이와 같은 MMA 알고리즘 연산량을 더욱 줄이면서 빠른 수렴 특성을 얻을 수 SE-MMA(Signed Error-MMA)에 대한 소개와 이의 등화 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 비교, 확인하였다. 이를 위하여 16-QAM 및 동일한 채널 계수와 적응 등화 상수를 적용하였으며, 이들 등화 알고리즘의 성능을 나타내는 지수로는 복원 신호 성상도, 수렴 특성을

나타내기 위한 잔류 isi와 최대 찌그러짐(MD)과 MSE 및 전송 과정에서 잡음에 대한 강인성을 확인하기 위하여 SER을 사용하였다. 논문의 구성으로 2장에서는 적응 등화기를 사용하는 기저 대역 통신 모델과 MMA와 SE-MMA 알고리즘에 대해 설명한다. 3장에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 위한 환경과 파라미터 값의 정의 및 적응 등화기의 성능 지수인 복원 성상도, 잔류 isi와 MD 및 MSE, SER에 대한 시뮬레이션 결과를 제시하고, 마지막으로 4장에서는 결론을 내리겠다.

II. 본 론

1. 등화기를 사용하는 시스템 모델

그림 1은 수신기에서 고정 등화기를 사용한 일반적인 통신 시스템의 기저 대역 모델을 나타낸 것이다. 송신측에서 기저 대역 신호 s_k 를 전송하면 송신 필터를 통과한 후 대역 제한과 다중 경로 전파를 나타내는 필터 모델인 임펄스 응답이 h_k 인 채널을 통하여 수신측에 전달되며, 이때 채널에서는 일정한 신호대 잡음 전력비를 갖는 잡음 n_k 가 부가된다. 수신측에서는 수신 필터를 통과한 후 등화기에 인가되며, 이때 계수가 f_k 인 등화기의 전달 함수 $F(\omega)$ 는 통신 채널의 역함수를 갖도록 설정된다. 송신 필터와 수신 필터는 이상적으로 간주하며, 송신 기저 대역 신호가 받는 채널의 찌그러짐에 의한 부호간 간섭은 등화기에 의해 최소화된 후 결정장치를 통해 송신 신호의 추정치 \hat{s}_k 를 얻게 된다. 주파수 영역에서는 채널의 임펄스 응답 h_k 의 푸리에 변환치를 $H(\omega)$, 등화기의 디지털 필터 계수 f_k 의 푸리에 변환치를 $F(\omega)$ 라하면 다음의 관계가 성립된다.

$$H(\omega) \cdot F(\omega) = 1 \quad (1)$$

단 지연 시간은 무시하였다. 즉 채널과 등화기의 종합 주파수 특성은 1이 되어 모든 주파수 성분을 그대로 통과시키게 되어 수신측에서 송신 신호를 추정할 수 있게 되며, 이 과정에서 발생하는 지연 시간은 무시한다.

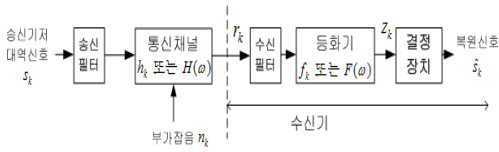


그림 1. 기저 대역 통신 시스템 모델
Fig. 1. Baseband communication system model

2. Multiple Modulus Algorithm와 SE-MMA

그림 1에서 송신 신호 s_k 는 통신 채널 h_k 를 통과하면서 부호간 간섭의 원인이 되는 찌그러짐이 발생된 후 원하는 신호대 잡음비를 갖도록 잡음 신호 n_k 가 부가된 후 수신 신호 r_k 를 얻는다.

$$r_k = s_k * h_k + n_k \quad (2)$$

수신 신호는 유한 차수의 계수를 갖는 등화 필터 f_k 를 통과하면서 채널 찌그러짐을 보상한 후 결정 장치 (decision device)를 통과시켜 복원 신호 \hat{s}_k 를 얻게 된다. 이때 등화 필터의 계수 f_k 는 식(1)의 관계가 되도록 적응적으로 변화시키며, 이를 위해 MMA 또는 SE-MMA 적응 알고리즘이 적용된다. 그림 2는 그림 1의 고정 등화기를 MMA 적응 알고리즘을 적용할 때 수신기의 구조를 나타낸 것이다.

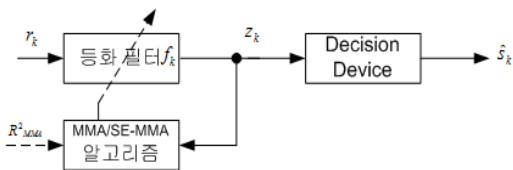


그림 2. MMA/SE-MMA 적응 등화기
Fig. 2. MMA/SE-MMA adaptive equalizer

적응 등화를 위한 필터 계수 갱신을 위하여 등화기의 출력 신호 z_k 와 송신 신호의 dispersion constant R_{MMA}^2 를 이용한다. 등화 필터의 출력 신호 z_k 는 그림 3의 영-오차 윤곽선상에서 일정한 moduli의 단일 정사각형이 되도록 조정되며 이 moduli와 실제 출력 신호 z_k 와의 오차 신호 e_k 는 실수부 e_r 와 허수부 e_i 로 나뉘어 진폭과 위상을 갖게 된다.

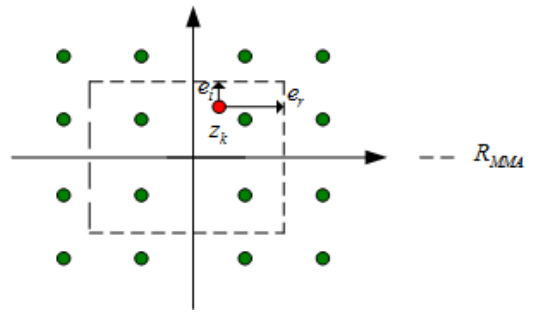


그림 3. MMA의 영-오차 윤곽선
Fig. 3. Zero-error contour of MMA

MMA 적응 등화 알고리즘에서는 다음과 같이 정의되는 비용 함수 J 를 최소화시키도록 SGA (Stochastic Gradient Algorithm)을 적용하여 반복시킨다.

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

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

여기서 z_{kr}, z_{ki} 은 z_k 의 실수와 허수를, s_{kr}, s_{ki} 은 s_k 의 실수와 허수를 각각 나타내며, R_{MMA}^2 는 MMA의 dispersion constant를 의미한다. 식(3)의 비용 함수는 1차원 CMA 비용 함수를 2개 더한 형태로 표시됨을 알 수 있으며 오차 함수와 등화 필터 계수의 갱신식은 다음과 같이 된다.

$$\overline{e_{kMMA}} = z_{kr} (|z_{kr}|^2 - R_{MMA}^2) + jz_{ki} (|z_{ki}|^2 - R_{MMA}^2) \quad (4)$$

$$f_{k+1} = f_k - \mu \overline{e_{kMMA}} r_k^*$$

반면 SE-MMA는 식(4)의 MMA 오차 함수에서 이들의 부호만을 이용하여 등화 필터 계수의 갱신에 사용되기 때문에 붙여진 이름이며, 오차 함수를 쓰면 다음과 같다.

$$\overline{e_{kSE-MMA}} = \text{sgn}[z_{kr} (|z_{kr}|^2 - R_{MMA}^2)] + j \text{sgn}[z_{ki} (|z_{ki}|^2 - R_{MMA}^2)] \quad (5)$$

$$f_{k+1} = f_k - \mu \overline{e_{kSE-MMA}} r_k^*$$

여기서 sgn은 signum 함수를 나타내며, MMA 또는 SE-MMA 알고리즘에서는 등화 필터의 출력 z_k 는 복

소 평면에서 4개의 점 $\pm R_{MMA} \pm j R_{MMA}$ 주위로 존재하도록 탭 계수를 갱신하게 된다. SE-MMA는 적응 상수가 고정될 때 탭 갱신을 위한 오차 함수를 곱하는 과정을 단순히 부호만을 고려하게 되어 알고리즘의 연산량을 줄일 수 있게 되어 수렴 속도를 개선시킬 수 있는 장점이 있다.

III. 컴퓨터 시뮬레이션 및 결과

기존의 MMA 와 SE-MMA 알고리즘의 성능 비교를 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션을 위한 파라미터로는 신호대 잡음비를 30dB, 적응 스텝의 크기를 모두 $\mu = 0.0018$, 등화 필터로는 안정성이 보장되는 15차 FIR 필터를 적용하였다. 그림 4는 부호간 간섭을 발생시키는 시분산 통신 채널의 진폭 전달 함수와 위상 전달 함수를 나타낸 것이다. 진폭 전달 함수는 최대와 최소 전달 함수가 3.5dB 범위에서 주파수에 따라 이득이 변화함을 알 수 있으며, 위상 전달 함수는 주파수에 따라 위상의 변화량이 불규칙적으로 변화하는 비선형 특성을 가지고 있음을 알 수 있다.

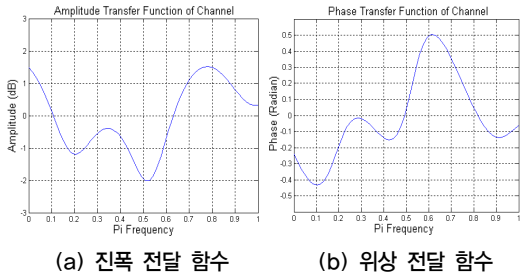


그림 4. 채널의 주파수 전달 함수
Fig. 4. Frequency transfer function of channel

그림 5는 시뮬레이션을 위한 전체 신호 흐름 과정을 나타낸 것으로 송신측에서는 20000개의 16-QAM 신호를 발생한 후, 그림 4의 통신 채널을 통과시킨 후 30dB의 신호대 잡음비를 갖도록 백색 가우시안 잡음을 부가시켜 수신 신호 r_k 를 얻었다. 수신 신호는 이를 MMA와 SE-MMA 알고리즘으로 처리하여 적응 등화 알고리즘의 성능을 나타내는 등화기 출력 z_k 의 정상도, 잔류 isi, MD 및 MSE 및 SER을 계산하였다.

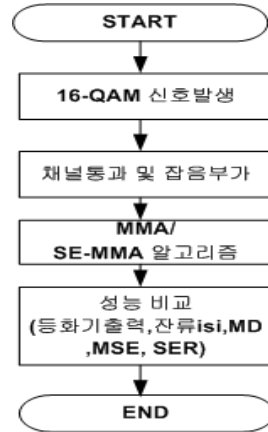


그림 5. 신호 처리 흐름도
Fig. 5. Flowdiagram of signal processing

첫 번째 성능을 정량적인 성능 비교를 위하여 이들 2 가지 알고리즘을 적용할 때 적응 등화기의 출력 신호의 정상도를 그림 6에 나타내었다. 출력 정상도에서는 신호점의 크기와 폭이 좁고 신호점간의 간격이 클수록 등화 성능이 우월하게 된다. 그림에서 MMA 알고리즘의 정상도들이 SE-MMA 알고리즘의 정상도에서 신호점의 크기와 폭, 신호점간의 간격이 크므로 성능의 우월함을 알 수 있다.

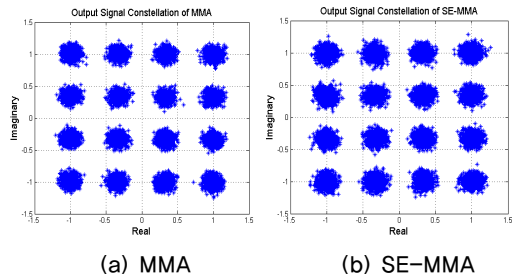


그림 6. 등화기 출력 신호 정상도
Fig. 6. Output signal constellation of equalizer

2 번째 성능 비교를 위한 지수로 잔류 isi, 최대 찌그러짐과 MSE learning 곡선을 사용하였으며 이들은 등화기의 성능을 나타내는데 매우 중요하다. 이들 곡선에서 얻을 수 있는 것은 초기의 과도 과정을 지나 정상 상태 (steady state)에 도달할 때까지의 수렴 속도와 그들의 양이다. 특히 수렴 속도는 적응 등화기가 정상적으로 동작하는 중에 채널의 상태가 급변하는 경우 이에 신속하게 적응하기 위하여 소요되는 시간을 나타내며 다음과 같이 정의하였다.

$$\text{잔류isi}_{\text{dB}} = 10 \log_{10} \left[\frac{\sum_i |h(k)*f(k)|^2 - |h(k)*f(k)|_{\text{max}}^2}{|h(k)*f(k)|_{\text{max}}^2} \right]$$

$$\text{MD} = \left[\frac{\sum_i |h(k)*f(k)| - |h(k)*f(k)|_{\text{max}}}{|h(k)*f(k)|_{\text{max}}} \right]$$

$$\text{MSE}_{\text{dB}} = 10 \log_{10} [\hat{s}_k - z_k]$$

(7)

먼저 잔류 isi는 통신 채널과 적응 등화기가 완전 등화 상태에서는 이들의 종합 특성으로 주파수 영역에서는 식(1)의 관계가 성립되며, 시간 영역에서는 임펄스 특성을 가져야 한다. 이는 이론적인 관계이며 실제적으로는 완전 임펄스 특성을 갖지 못하고 잔류 성분들이 존재하게 되므로 이 잔여 성분들의 크기를 의미한다. 그림 7은 블라인드 적응 등화기의 가장 중요한 성능 지수인 잔류 isi 성능을 나타낸 것으로서 -20dB를 정상 상태로 설정할 때 MMA는 2071회, SE-MMA는 724회에 달성하므로, 수렴 속도에서는 SE-MMA가 MMA보다 2.86배 빠르지만, 수렴후의 양에서는 MMA가 우월함을 알 수 있다.

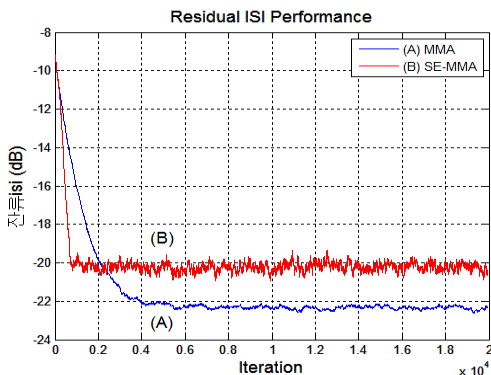


그림 7. 잔류 isi 성능
Fig. 7. Residual isi performance

또한 수렴후에서 잔류 양들의 변화도 SE-MMA보다 MMA가 적게 되어 misadjustment에 의한 등화 잡음이 감소됨을 확인할 수 있다. 또한 최대 찌그러짐 (MD : Maximum Distortion)은 그림 6의 신호 정상상태에서 원래의 송신 신호점과 복원 신호점간의 거리를 나타내며, 이들의 성능 곡선을 그림 8에 나타내었다. 이 지수도 정상 상태인 -0.38 [v]이하로 정의할 때 MMA는 1716회, SE-MMA는 713회에서 달성되므로 MD 수렴 속도에서

SE-MMA가 MMA 보다 2.4배 빠르지만 수렴후의 그 양에서는 MMA가 우월함을 알 수 있다.

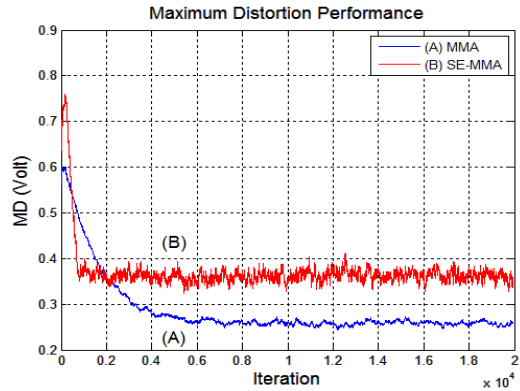


그림 8. MD 성능
Fig. 8. MD performance

진폭의 차이를 나타내는 MSE 성능 비교를 그림 9에 나타내었다. 결정 장치의 출력과 등화기 출력간의 차이로 정의되며 정상 상태를 -18dB 이하로 정의할 때 MMA는 1865회, SE-MMA는 702회가 필요케 되어 수렴 속도에서는 SE-MMA가 MMA보다 2.66배 빠르지만, 수렴후의 양에서는 MMA가 적게 됨을 알 수 있다.

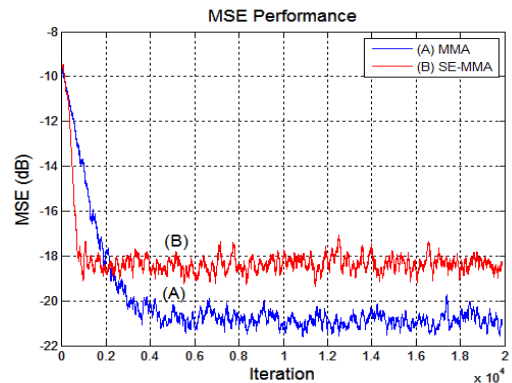


그림 9. MSE 성능
Fig. 9. MSE performance

표 1은 그림 7, 8, 9에 대한 정상 상태 이후의 정량적인 평균과 분산을 나타낸 것이다. 대부분의 모든 지수들을 비교할 때 adaptive varying modulus 개념을 적용하는 제안 방식이 기존 MMA보다 적게 되어 등화 성능이 개선됨을 알 수 있다.

표 1. 성능 지수의 통계치

Table 1. Statistics of performance index

	MMA	SE-MMA
잔류ISI	평균: 0.0061	평균: 0.0095
	분산: 2.2117e-6	분산: 2.2238e-7
MD	평균: 0.2680	평균: 0.3620
	분산: 5.3323e-4	분산: 1.2189e-4
MSE	평균: 0.0086	평균: 0.0146
	분산: 1.8370e-6	분산: 1.2468e-6

마지막으로 통신 채널에서 부가되는 잡음에 대한 강인성을 알아보기 위하여 신호대 잡음비를 0에서 30dB 까지 5dB 단위로 변화시킬때의 SER (Symbol Error Rate) 성능을 그림 10에 나타내었다. 전체적으로 SE-MMA가 MMA 보다 SER 성능이 열화됨을 알 수 있으며 SER이 10^{-2} 에서 MMA가 SE-MMA보다 약 6dB의 등화 이득을 얻을 수 있다.

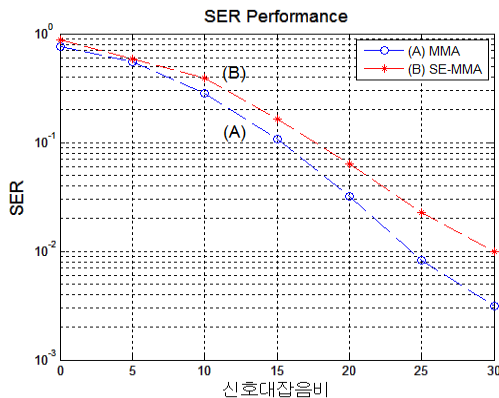


그림 10. SER 성능
Fig. 10. SER performance

V. 결론

논문에서는 시분산 채널에서 발생하는 부호간 간섭의 영향을 최소화하기 위한 기존의 MMA 적응 등화 알고리즘과 이의 연산량을 경감시킨 SE-MMA 알고리즘의 등화 성능을 비교하였다. SE-MMA 알고리즘에서는 적응 등화기의 탭 갱신을 위한 오차 신호를 MMA 알고리즘의 오차 신호의 극성만을 이용한다. 시뮬레이션 결과 정상 상태에 도달키 위한 수렴 속도에서는 잔류ISI의 경우 SE-MMA가 MMA보다 2.86배, MD에서는 2.4배,

MSE에서는 2.66배 빠르게 개선됨을 확인했지만, 정상 상태 이후의 양은 MMA보다 열악해짐을 알 수 있었다. 또한 채널의 잡음에 의한 강인성을 확인키 위한 SER 성능에서는 SE-MMA가 MMA보다 열악해져서, SER이 10^{-2} 의 경우 6dB 정도 더 요구됨을 알 수 있었다. 이와 같이 기존 알고리즘의 연산량을 줄이므로서 수렴 속도에는 많은 개선 효과를 얻을 수 있지만, 정상 상태 이후의 등화 성능을 위한 양은 열화되는 상반된 성능을 가지게 된다. 이와 같은 블라인드 적응 등화 알고리즘이 갖는 특성을 이용하여 정상 상태에서의 양보다는 채널의 순단과 같은 비정상적인 통신 채널 환경에 손쉽게 적용될 수 있으며 이를 고속으로 H/W 응용을 위한 기반 알고리즘이 될 것으로 사료되어진다. 향후 수렴 속도 뿐만 아니라 정상 상태에서 등화 성능의 양까지도 기존 방식보다 개선시킬 수 있도록 알고리즘에 대한 지속적인 연구가 필요할 것으로 기대한다.

References

- [1] Godard D.N., "Recovering equalization and carrier tracking in two-dimensional data communication systems", IEEE Trans. Com., COM-28, pp.1867~1875, Nov. 1980.
- [2] J. Yang, J.J.Werner and G.A.Dumont, "The multi modulus bline equalization algorithm", 13th Int. conf. of DSP, Vol.1, pp.127-130, 2-4 July 1997.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] S.A.Sheikh, P.Fan, "A New Multimodulus Blind Equalizaer for Dense QAM Constellation", Wireless, Mobile and Networks, Int. conf. of ICWMMN2006, pp.1~4, 2006
- [6] D.S.Kang, S.G.Lim, "The Performance Comparison of MMA and S-MMA Adaptive Equalization

- Algorithm for QAM Signal", Jour. on I.W.I.T., Vol.13, No. 1, Feb. 2013.
- [7] R.Babu.T, P.Rajesh Kumar, "Blind Equalization using Constant Modulus Algorithm and Multi-Modulus Algorithm in Wireless Communication Systems", 2010 Int. conf. of Computer Application, Vol.1, No.3, pp.40~45, 2011
- [8] J.P.Chung, I.J.Kim, "Performance Analysis of Turbo Equalizer in Fading Channel", Jour. of K.I.I.T., Vol. 10, No.1, pp.91~96, Jan. 2012

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>

강 대 수(정회원)



- 1983년 : 경희대학교 전자공학과 학사 졸업
- 1985년 : 경희대학교 전자공학과 석사 졸업
- 1992년 : 경희대학교 전자공학과 박사 졸업

• 2005년 ~ 현재 : 공주대학교 정보통신공학부 교수
<주관심분야 : 디지털통신, 이동통신, 인지신호처리>