

<https://doi.org/10.7236/IIBC.2018.18.1.79>

IIBC 2018-1-11

Adaptive Varying Modulus를 이용한 SE-MMA 적응 등화 알고리즘의 성능 개선

A Performance Improvement of SE-MMA Adaptive Equalization Algorithm using Adaptive Varying Modulus

임승각*

Seung-Gag Lim*

요약 본 논문은 16-QAM nonconstant modulus 특성을 갖는 신호 전송시 통신 채널에서 발생하는 찌그러짐에 의한 부호간 간섭을 줄일 수 있는 적응 등화 알고리즘인 SE-MMA (Signed Error - Multiple Modulus Algorithm) 성능의 개선에 관한 것이다. 기존 MMA에서는 송신 신호의 2차 통계치인 modulus를 고정적으로 사용하며 이의 연산량의 간소화를 위하여 SE-MMA가 등장하였다. SE-MMA는 수렴 속도에서는 MMA보다 빨라지만 연산량의 간소화로 인하여 정상 상태에서 등화 성능이 열화되는 문제점이 있으므로, 논문에서는 SE-MMA의 특징을 살리면서 adaptive varying modulus에 의한 오차 신호를 이용하여 적응 등화 필터 계수를 얻음으로서 개선된 등화 성능을 얻을 수 있는 새로운 알고리즘인 AV-SE-MMA를 제안하며 이의 성능을 시뮬레이션으로 확인하였다. 이를 위한 성능 지수로는 등화기 출력 신호 정상도, 잔류 isi양, MD 및 잡음에 대한 robustness를 확인하기 위하여 SER를 사용하였다. 성능의 비교 결과 출력 신호 정상도, 잔류 isi 및 MD에서는 제안 방식인 AV-SE-MMA가 SE-MMA보다 우월하였지만 잡음에 대한 robustness를 나타내는 SER 성능에서는 동등함을 알 수 있었다.

Abstract This paper relates with the performance improvement of SE-MMA (Signed Error-Multiple Modulus Algorithm) adaptive equalization algorithm that is used for the reduction of the intersymbol interference due to the distortion which occurs in the communication channel for the transmission of 16-QAM nonconstant modulus signal.. In the conventional MMA, the fixed modulus value that is second order statistics of transmitting signal were used, and the SE-MMA was introduced in order to the simplification of the algorithm's arithmetic operation. The SE-MMA have a fast convergence speed than MMA, but it has a problem of degradation of equalization performance in the steady state due to the arithmetic simplification. In this paper, we propose the new algorithm AV-SE-MMA (Adaptively Varying-SE-MMA) that uses the adaptive varying modulus in order to obtain the error signal for updating the adaptive equalizer coefficient, and its equalization performance were confirmed by simulation. In this paper, the performance of SE-MMA and proposed algorithm were compared, and the equalizer output signal constellation, residual isi, MSE and SER in order to confirm the robustness of noise were used as performance index. As a result of performance comparison, the AV-SE-MMA has better performance in output signal constellation, residual isi and MD compared to the SE-MMA, but it was confirmed that the AV-SE-MMA has similar in the SER performance that means the robustness to the noise.

Key Words : SE-MMA, MMA, Residual isi, adaptive varying modulus, AV-SE-MMA

*정희원, 공주대학교 정보통신공학부 정보통신공학전공
접수일자: 2017년 11월 16일, 수정완료: 2018년 1월 16일
게재확정일자: 2018년 2월 9일

Received: 16 November, 2017 / Revised: 16 January, 2018

Accepted: 9 February, 2018

*Corresponding Author: sglim@kongju.ac.kr

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

I. 서 론

오늘날 통신 시스템에서 디지털 정보를 전송하기 위하여 정현파의 진폭과 위상을 동시에 변화시키는 QAM과 같은 대역폭 효율적인 변조 방식이 널리 사용되고 있다. 유선과 무선의 통신 매체에서는 대역폭 제한과 페이딩의 원인으로 송신 신호의 진폭과 위상이 동시에 찌그러져서 인접 심볼이 최근 심볼에 영향을 미치는 부호간 간섭이 일어난다^[1]. 수신측에서 원래의 송신된 신호를 복원할 때 부호간 간섭의 효과를 줄이기 위하여 다양한 기술들이 적용되며, 가장 널리 사용되는 기술에는 FEC와 CE (Channel Equalization)가 있다. 후자의 경우 송신국과 수신국이 사전에 알고 있는 학습열의 도움을 이용하는 적응 등화기가 부호간 간섭의 효과를 최소화하기 위하여 사용된다. 적응 등화기에서 학습열은 매우 유용한 참조 신호가 되지만, 사용 가능한 대역폭을 낭비하는 문제점이 있다^[2]. 최근 시스템 설계자들에게 blind channel equalization이 학습열의 전송에 의한 대역폭 낭비가 없다는 점에서 관심이 집중되고 있으며 CMA, RCA, MMA 등이 대표적인 예이다. CMA는 원하는 수렴 요구 조건을 만족하는데 가장 좋지만, 이의 비용 함수는 진폭에만 의존케 되지만, 위상 오프셋 복원이 불가능하다. 반면 RCA는 응용하는데 단순하며 CMA의 위상 문제를 해결하지만 초기 수렴이 보장되지 않는다. 그러나 MMA는 보다 신뢰할 수 있는 초기 수렴 특성을 보장하며 독립적인 위상 추적 루프가 불필요하게 되므로, 최근 다양한 형태의 MMA 계열 알고리즘이 등장하고 있다^[3]. SE-MMA도 이와 같은 계열의 알고리즘으로 MMA의 연산량을 줄이기 위하여 등장하였다. MMA에서 적응 등화 필터의 탭 계수 갱신을 위한 오차 신호를 얻을 때 고정된 modulus를 이용하므로 오차 신호가 커져서 등화 성능이 열화된다. 반면 SE-MMA에서는 MMA의 오차 신호의 polarity만을 이용하여 탭 계수를 갱신하므로 알고리즘의 연산량이 감소되는 장점이 있지만, 이의 등화 성능은 기존 MMA보다 열화되는 단점이 있다^[7]. 본 논문에서는 SE-MMA에서 오차 신호를 얻기 위하여 adaptive varying modulus를 이용하므로써 SE-MMA의 장점을 그대로 살리면서 등화 성능을 개선하기 위한 AV-SE-MMA라는 새로운 알고리즘을 제안하며^{[4][5]}, 이의 개선된 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 확인한다. 주어진 16-QAM 송신 신호와 동일한 통신 채널 및 신호대

잡음비 하에서 제안 알고리즘의 성능을 기존 SE-MMA와 비교하였다. 2장에서는 기본적인 SE-MMA 알고리즘, adaptive varying modulus에 대해 소개한 후 3장에서는 시뮬레이션 과정 및 결과를 다루고, 마지막 4장에서는 결론을 내리겠다.

II. 본 론

1. 기저 대역 통신 시스템

그림 1은 적응 등화기를 적용한 기저 대역 통신 시스템 모델을 나타낸 것이다. 송신측에서는 source로부터의 신호를 constellation mapping 과정을 통해 QAM과 같은 신호 s_k 를 송신하면 임펄스 응답이 h_k 인 채널을 통과하면서 가우시안 잡음 n_k 가 부가되어 수신된다. 이때 임펄스 응답 h_k 는 주파수 영역에서 진폭 전달 특성이 일정하지 않고, 위상 전달 특성은 비선형 특성을 갖게 되어 수신 신호 r_k 에는 이로 인한 부호간 간섭과 잡음 영향이 부가된다. 수신된 신호 r_k 는 응답이 f_k 인 등화기에 입력되어 진폭과 위상이 보상된 출력 신호 z_k 를 얻은 후 이 신호는 결정 장치를 통과하면서 최종 복원 신호 \hat{s}_k 를 얻어 sink에 전달하게 된다. 이때 등화기의 응답 f_k 는 출력 신호 z_k 또는 \hat{s}_k 를 이용하여 SE-MMA 또는 제안 알고리즘을 적용하여 각각의 비용 함수를 최소화시키도록 적응적으로 변화시킨다. 임펄스 응답 h_k 와 등화 필터 f_k 의 차수를 N 이라면 이들 간에는 다음의 관계식들이 성립되며, *는 선형 컨볼루션을 나타낸다.

$$\begin{aligned} h_k &= [h_0 \quad h_1 \quad h_2 \quad \dots \quad h_{N-1}] \\ f_k &= [f_0 \quad f_1 \quad f_2 \quad \dots \quad f_{N-1}] \\ r_k &= s_k * h_k, \quad z_k = r_k * f_k \end{aligned} \quad (1)$$

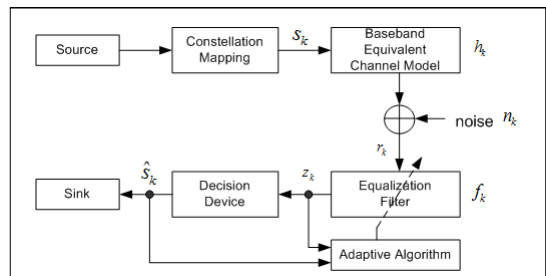


그림 1. 기저 대역 통신 시스템
Fig. 1. Baseband communication system

2. MMA 와 SE-MMA 알고리즘

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 보정한 후 결정 장치에서 복원 신호 \hat{s}_k 를 얻게 된다. 이때 등화 필터의 계수 f_k 는 식(1)의 관계가 되도록 적응적으로 변화시키며, 이를 위해 SE-MMA 적응 알고리즘이 적용된다. 적응 등화를 위한 필터 계수 갱신을 위하여 등화기의 출력 신호 z_k 와 송신 신호의 constant modulus R_{MMA}^2 를 이용한다. SE-MMA는 MMA 등화 알고리즘을 개량한 것이므로, 먼저 MMA 적응 등화 알고리즘에서는 다음과 같이 정의되는 비용 함수 J 를 최소화시키도록 SGA (Stochastic Gradient Algorithm)을 적용하여 반복시킨다.

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

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

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 신호와 탭 갱신식을 쓰면 다음과 같다.

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

$$f_{k+1} = f_k - \mu \overline{e_{kSE-MMA}} r_k^* \quad (5)$$

여기서 sgn 은 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 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.

그림 2는 SE-MMA의 내부 구성도를 나타낸 것이다.

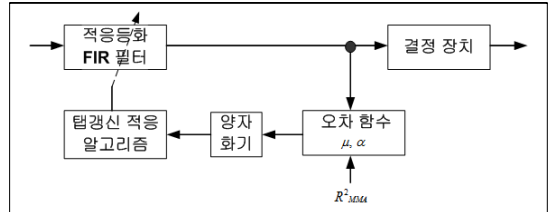


그림 2. SE-MMA의 구조
 Fig. 2. Structure of SE-MMA

3. Adaptive Varying Modulus 개념과 AV-SE-MMA 알고리즘

고차 QAM 신호에서 MMA의 constant modulus를 등화에 적용하므로써 오차 신호가 커져서 성능 저하의 문제점을 해결하기 위하여 adaptive varying modulus 개념이 등장하였다. 식 (5)의 SE-MMA의 오차 신호에서 constant modulus R_{MMA}^2 를 이용하여 얻는데 이는 완전 등화 상태 또는 steady state에서도 완전 0가 되지 못하며, SE-MMA는 등화기 출력을 $\pm R_{MMA} + jR_{MMA}$ 에 위치하도록 탭 계수를 갱신하게 되지만 QAM의 차수가 클수록 modulus와의 차이가 커지므로 성능이 열화된다. 제안 방식에서는 등화기 출력에 따라 adaptive varying modulus 적용하므로써 오차 신호를 줄일 수 있다.

16-QAM의 경우 MMA와 SE-MMA에서 사용하는 constant modulus $R_{MMA}^2 \approx 2.84$ 이므로 $\pm 3 \pm j3$ 의 신호점들은 $\pm 1 \pm j1$ 의 신호점보다 상대적으로 적은 오차를 얻을 수 있으므로 이를 2개의 zone Z_1, Z_2 로 구분하여

$\pm 3 \pm j3$ 신호점들은 external adaptive modulus를 적용하고, $\pm 1 \pm j1$ 신호점들은 internal adaptive modulus를 적용하여 오차 신호를 발생하므로써 개선된 등화 성능을 얻을 수 있게 된다. 제안 방식인 AV-SE-MMA에서 식(5)의 오차 신호와 탭 갱신식을 쓰면 다음과 같다.

$$\overline{e_{kAV-SE-MMA}} = \text{sgn}[z_{kr} (|z_{kr}|^2 - \text{Var}(R_{MMA}^2))] + js \text{sgn}[z_{ki} (|z_{ki}|^2 - \text{Var}(R_{MMA}^2))] \quad (6)$$

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

식 (6)에서 $\text{Var}(\cdot)$ 는 16-QAM 신호에서 이와 같이 정의되는 adaptive varying modulus를 나타낸 것이다.

$$\begin{aligned}
 &\text{If } z_{Rk} \in Z_{R-1} \text{ then } R_{T\text{MMA}}^2 = 0.3153 \\
 &\text{If } z_{Rk} \in Z_{R-2} \text{ then } R_{T\text{MMA}}^2 = 0.946 \\
 &\text{If } z_{Ik} \in Z_{I-1} \text{ then } R_{I\text{MMA}}^2 = 0.3153 \\
 &\text{If } z_{Ik} \in Z_{I-2} \text{ then } R_{I\text{MMA}}^2 = 0.946
 \end{aligned} \tag{7}$$

III. 컴퓨터 시뮬레이션

Adaptively Varying SE-MMA 적응 등화 알고리즘의 성능을 기존 SE-MMA와 비교하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션을 위한 파라미터로는 SNR을 30dB, 적응 스텝 크기 $\mu = 0.0015$, 적응 필터의 차수는 15차 FIR로 설정하였다. 16-QAM 신호를 발생시킨 후 부호간 간섭이 발생하는 통신 채널을 통과 및 잡음 신호 n_k 를 부가한 후 수신 신호 r_k 을 얻었으며 시뮬레이션을 위한 신호 처리 과정을 그림 3에 나타내었다.

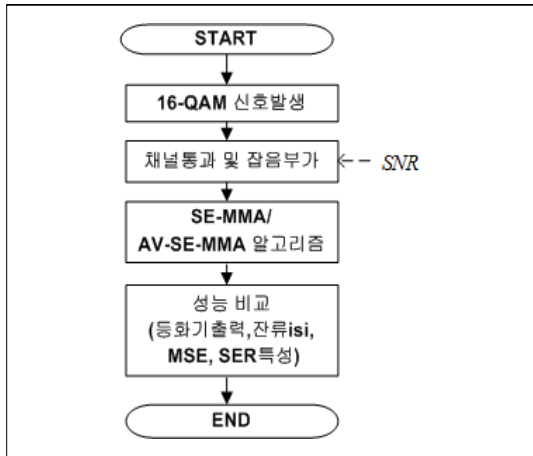


그림 3. 신호 처리 흐름도
Fig. 3. Signal processing flowdiagram

채널에서 발생하는 찌그러짐을 보상하기 위한 필터 계수의 갱신은 SE-MMA와 AV-SE-MMA 알고리즘인 식(5)와 식(6)을 적용하였다. 이상의 환경을 통하여 SE-MMA와 AV-SE-MMA 알고리즘을 구현한 후 이들의 적응 등화 성능을 비교하였다. 그림 4는 constant modulus를 적용하는 SE-MMA와 adaptive modulus를 적용하는 AV-SE-MMA 알고리즘 내부에서 발생하는 식(5)와 (6)의 오차 신호를 나타내며 SE-MMA보다 AV-SE-MMA의 오차 신호가 적음을 알 수 있다.

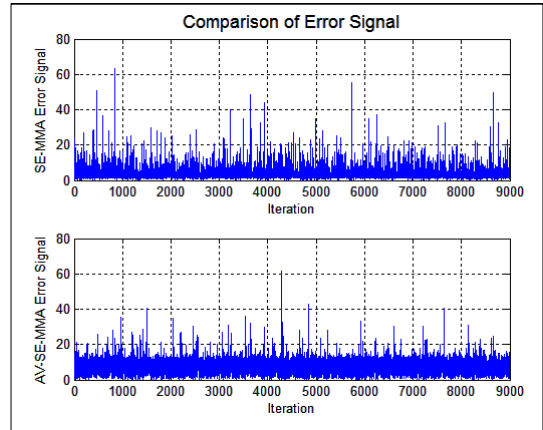


그림 4. 오차 신호
Fig. 4. Error signal

첫 번째 지수로서 그림 5는 부호간 간섭을 제거된 후의 등화기 출력 신호 constellation을 나타낸 것이며, 이 신호가 결정 장치에 입력되어 송신 심볼을 추정, 복원하게 된다. 2가지 알고리즘 모두 16개의 심볼점에 대하여 명확하게 구분되어지므로 채널에서 발생된 진폭과 위상 찌그러짐에 의한 부호간 간섭이 상당히 보상됨을 알 수 있다. 그러나 특정한 신호점의 폭이 좁고, 신호점간의 거리가 넓어져야 하는 constellation의 clustering 능력에서 AV-SE-MMA가 SE-MMA보다 우월함을 알 수 있다.

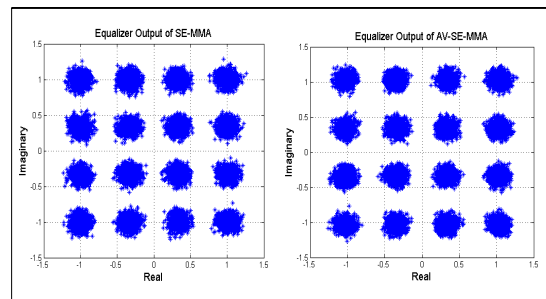


그림 5. 등화기 출력 신호 성상도
Fig. 5. Signal constellation of equalizer output

두 번째로 적응 등화기의 성능을 나타내는 지수로는 잔류 isi (Residual isi)와 MD를 사용하였으며 이를 그림 6과 7에 나타내었다. 먼저 잔류 isi는 통신 채널 h_k 와 등화 필터 계수 f_k 가 완전 보상이 될 때 시간 영역에서는 이들의 convolution 결과는 이론적으로는 임펄스 신호가 된다. 그러나 시간 영역에서 이의 완전 보상은 불가능케

되어 임펄스 성분을 제외한 나머지 잔류 성분들의 크기를 나타내므로 이들의 양이 적을수록 우수한 성능을 갖게 되며, 이들은 다음의 식과 같이 정의된다.

$$\text{잔류 } isi_{dB} = 10 \cdot \log_{10} \frac{\sum |h_k^* f_k|^2 - |h_k^* f_{k_{\max}}|^2}{|h_k^* f_{k_{\max}}|^2} \quad (8)$$

$$MD|_{\text{Volt}} = \frac{\sum |h_k^* f_k| - |h_k^* f_{k_{\max}}|}{|h_k^* f_{k_{\max}}|}$$

잔류 isi에서는 -20dB 이하를 정상 상태로 볼 때 수렴 속도를 나타내는 이를 달성하기 위한 iteration의 수에서 SE-MMA와 AV-SE-MMA가 거의 비슷함을 알 수 있으며 정상 상태 이후에는 이들의 양에서 AV-SE-MMA가 SE-MMA보다 더욱 적어져서 성능이 개선됨을 알 수 있다. 또한 MD 성능에서도 수렴 속도에서는 이들이 매우 유사하지만 0.38 Volt 정도의 정상 상태 이후에는 AV-SE-MMA가 SE-MMA보다 적게 된다.

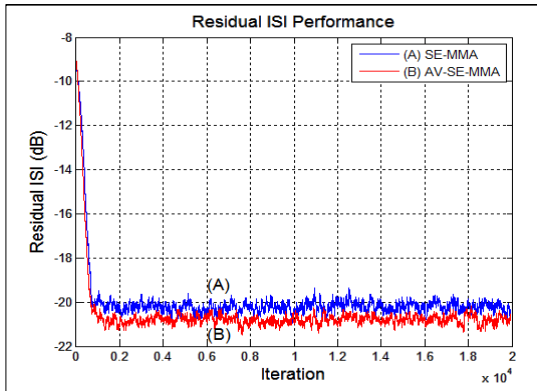


그림 6. 잔류 isi 성능
 Fig. 6. Residual isi performance

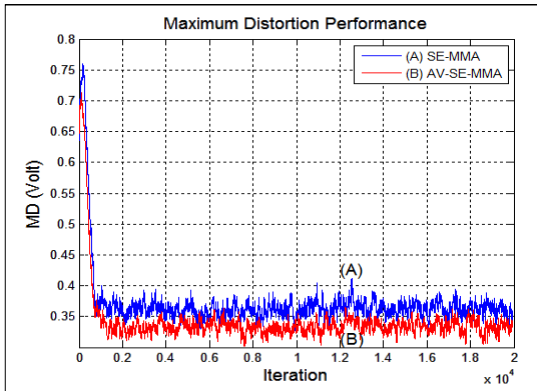


그림 7. MD 성능
 Fig. 7. MD performance

표 1은 그림 7, 8에서 제시되어진 정성적인 잔류 isi 및 MD에 대한 정상 상태 이후의 정량적인 평균과 분산값을 나타낸 것이다. 잔류 isi와 MD에서 AV-SE-MMA가 SE-MMA보다 적은 양으로 우수하게 적응 등화가 가능함을 알 수 있다.

표 1. 성능 지수의 통계치

Table 1. Statistics of performance index

	SE-MMA		AV-SE-MMA	
잔류 isi	평균	0.0095	평균	0.0083
	분산	2.3586e-7	분산	1.3880e-7
MD	평균	0.3621	평균	0.3338
	분산	1.2727e-4	분산	9.9637e-5

마지막 성능 비교를 위한 지수로서 채널에서 부가되는 잡음에 대한 강인성을 확인하기 위하여 SNR에 대한 심볼 오류율을 나타내는 SER 성능을 그림 9에 나타내었다. 그림에서는 SNR을 5dB 단위로 0 ~ 35dB까지 변화시키면서 AV-SE-MMA와 SE-MMA 적응 등화 알고리즘을 적용할 때의 오류율을 나타내었으며, 이들 2가지 알고리즘이 모두 유사하게 분포함을 알 수 있다. 이는 알고리즘 내부의 성능 지수에서는 adaptive varying modulus를 적용하는 AV-SE-MMA가 우월하게 나타났지만, 알고리즘 외부의 성능 지수인 잡음에 대한 SER 성능에서는 큰 변화가 없게 됨을 알 수 있다.

V. 결론

논문에서는 adaptive varying modulus를 적용한 AV-SE-MMA 알고리즘의 개선된 등화 성능을 SE-MMA와 비교하였다. SE-MMA는 기존 MMA의 연산량을 축소시킨 알고리즘으로서 등화 성능에서는 기존 방식보다 열화되는 단점이 있으므로 이를 개선시키기 위하여 modulus를 변화시키는 AV-SE-MMA 알고리즘을 이용하면 알고리즘 내부의 성능 지수인 잔류 isi, 최대 제그리움에서 수렴 속도는 거의 유사하면서도 등화 잡음의 감소와 더욱 개선된 성능을 얻을 수 있음을 확인하였다. 그러나 알고리즘 외부의 성능 지수인 부가 잡음에 대한 robustness를 나타내는 SER 성능에서는 동등한 성능을 얻을 수 있었다. 전체적인 성능 지수에서 constant

modulus 보다는 adaptive varying modulus를 채용함으로써 원하는 등화 성능을 얻기 위하여 수렴 시간에서 열화되지 않고, 정상 상태에서 개선된 성능을 얻을 수 있음을 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 이와 같은 연구 결과를 바탕으로 향후 실시간 트래픽 전송과 같은 전송 분야에서 부호간 간섭의 영향을 줄이기 위해 최소 연산량으로 개선된 통신 시스템의 throughput을 개선시킬 수 있을 것이다.

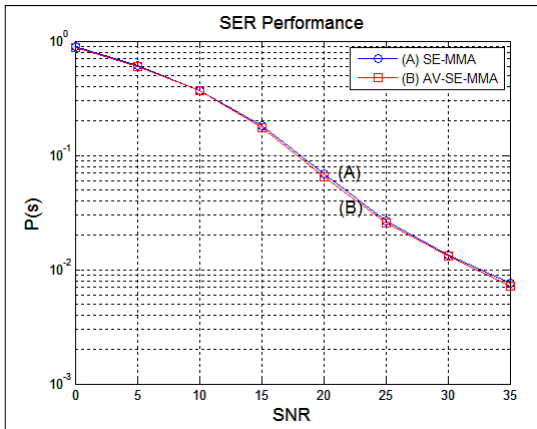


그림 9. SER 성능
Fig. 9. SER performance

References

[1] S.A. Sheikh, P. Fan, "Joint Blind Equalization & Carrier Phase Recovery based on Adaptively Varying Modulus Algorithm", Int. Multitopic Conf., IEEE INMIC 2005, pp.1~6, 2005.
DOI : 10.1109/INMIC.2005.9420422

[2] W.S. Yuan, L. Feng, "A Computationally Efficient Multi-Modulus Blind Equalization Algorithm", 2nd Int. Conf. on ICIME, pp.685~687, 2010
DOI : 10.1109/ICIME.2010.5478261

[3] K.Banovic, E.A.Rahleem, M.A.S.Khalid, "A Novel Radius-Adjusted Approach for Blind Adaptive Equalization", IEEE S.P.Letters, Vol.13, No.1, pp. 37~40, Jan. 2006.
DOI : 10.1109/LSP.2005.860544

[4] R. Hamzehyan, R. Dianat, N.C. Shirazi, "New

Variable Step-Size Blind Equalization Based on Modified Constant Modulus Algorithm", Int. Jour. of Machine Learning and Computing, Vol.2, No. 1, pp.30~34, Feb. 2012.

[5] S.A. Sheikh, P. Fan, "Two Efficient adaptively varying modulus blind equalizers : AVMA and MD/AVMA", ScienceDirect, Digital Signal Processing 16, pp.832~845, 2006.

[6] KH.Oh, "A Design of Error Signals Effective for Blind Equalization in Both of Initial Phase and Steady-State", Journal of K.I.I.T., Vol.10, No.6, June 2012.

[7] S.G. Lim, D.S. Kang, "Performance of SE-MMA Blind Adaptive Equalization Algorithm in QAM System", Journal of I.I.B.C., Vol.13, No.3, pp.63~69, June 2013.

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>