

QAM 신호에서 Adaptive Modulus를 이용한 SMMA 적응 등화 알고리즘의 성능 개선

Performance Improvement of SMMA Adaptive Equalization Algorithm using Adaptive Modulus in QAM Signal

임승각*

Seung-Gag Lim

요약 본 논문에서는 SMMA (Sliced Multi Modulus Algorithm) 등화 알고리즘에서 등화기의 출력 전력에 비례하는 adaptive modulus를 이용하므로써 등화 성능을 개선할 수 있는 AM-SMMA 알고리즘에 대하여 다룬다. 기존 SMMA 알고리즘에서는 등화기의 탭 계수 갱신을 위한 오차 신호를 발생할 때 송신측 QAM 신호의 통계 특성치인 modulus를 고정적으로 사용하지만, 제안 AM-SMMA에서는 등화기 출력 신호의 전력에 비례도록 modulus를 적응적으로 사용하게 된다. 제안 알고리즘의 개선된 등화 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 확인하며, 성능 지수로는 등화기 출력 신호 정상도, 수렴 특성을 나타내는 잔류 isi, 최대 찌그러짐과 채널의 신호대 잡음비에 따른 SER을 사용하였다. 시뮬레이션 결과 slice 가중치가 적으면 잔류isi, 최대 찌그러짐 성능이 우월하며, 가중치가 큰 경우 SER 성능이 우월함을 확인하였다.

Abstract This paper deals with AM-SMMA (Adaptive Modulus-SMMA) adaptive equalization algorithm that is possible to improve the equalization performance using adaptive modulus which is proportional to the output signal power of equalizer in the current SMMA algorithm. The fixed statistic modulus of transmitted QAM signal is used in current SMMA algorithm in order to generate the error signal for updating the tap coefficient of equalizer. The adaptive modulus which is proportional to the equalizer output signal power is used in the proposed AM-SMMA. The computer simulation was performed in order to confirm the improved equalization performance of proposed algorithm. The performance index includes the output signal constellation, the residual isi and maximum distortion that is for the convergence characteristics, the SER. As a result of computer simulation, the residual isi, maximum distortion are better in the small weighting values. But in SER performance is better in the large weighting values.

Key Words : SMMA, AM-SMMA, Residual isi, Maximum Distortion, dispersion constant

1. 서론

대부분의 디지털 통신 시스템에서 대역 제한된 채널을 고려하여 신호 방식을 결정할 때 스펙트럼 효율이 높은 QAM과 같은 2차원 방식이 널리 사용된다. 이와 같은

신호 방식은 대역 제한 채널에서 발생할 수 있는 진폭과 위상 찌그러짐에 의한 부호간 간섭에 의해 성능이 급격히 저하되는 문제점을 갖게 된다. 채널 등화는 이와 같은 부호간 간섭의 영향을 최소화시킬 수 있는 기술적인 대안으로 널리 사용되고 있으며, 적응 등화 알고리즘은 채

*정회원, 공주대학교 정보통신공학부 정보통신공학
접수일자 : 2015년 11월 2일, 수정완료 : 2016년 1월 3일
게재확정일자 : 2016년 2월 5일

Received: 2 November, 2015 / Revised: 3 January, 2016 /
Accepted: 5 February, 2016

*Corresponding Author: sglim@kongju.ac.kr
Dept. of Information and Communication, Kongju National University, Korea

널의 특성이 미지 (unknown)이며 시간에 따라 변하는 시변 채널에서 등화기를 초기화하고, 미지의 채널 특성의 역특성을 갖도록 등화기의 탭 계수를 갱신할 수 있도록 한다. 그러나 미지 채널의 역특성을 갖기 위해 초창기에는 학습열 (training sequence)에 의존하였지만, 이의 전송이 불가능하거나 어려우며, 이로 인한 가용 전송 대역폭의 낭비와 전송 효율의 저하를 개선하기 위해 blind 방식이 등장하였다^{[1][2]}. blind 방식에서는 수신측에서 역방향 채널없이 순방향 채널을 통해 디지털 부호를 수신하면서, 채널의 역특성을 얻을 수 있는 매우 유용한 방식이지만, 송신 신호에 대한 통계적 특성이 modulus를 이용해야 한다. 학습열에 의존하는 등화 방식에 비해 modulus에 의존하는 blind 방식은 정상 상태에 도달하기 위한 수렴 시간과 수렴후에도 등화 성능이 저하되는 문제점이 있으므로, 최근에는 이를 개선하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. blind 등화를 위한 적응 알고리즘으로는 CMA (Constant Modulus Algorithm), MMA등을 들 수 있다^{[2][6]}. CMA는 비교적 간단한 연산량으로 실시간 응용이 가능하며 수신 신호의 진폭만 보상할 수 있지만, 위상 보상이 불가능한 최초의 방식으로 실제 응용되기 위해서는 PLL과 같은 위상 보정 장치를 이용하여야 한다. 반면 MMA는 등화를 위한 비용 함수 또는 오차 함수가 복소수의 진폭과 위상 함수로 표현되므로 수신 신호에서 진폭뿐만 아니라 위상도 동시 보상할 수 있는 능력을 갖지만, 등화 성능이 저하되는 문제점이 있다. 이와 같은 MMA의 문제점을 개선시키면서 정상 상태에서 misadjustment에 의한 등화 잡음이 줄이기 위하여 SMMA가 등장하였다^{[2][4]}. SMMA에서는 CMA, MMA에 사용되는 dispersion constant에 결정 장치의 출력 신호 (sliced output)를 slice 가중치만큼 고려하고 있다. 이렇게 하여 등화기 출력의 실수와 허수부가 인접 심볼의 실수와 허수부의 절대치 가중 contour에 매핑시킬 수 있게 된다. 이들 CMA, MMA, SMMA에서는 송신 신호의 dispersion constant를 고정적으로 사용하고, 논문에서 제안하는 AM-SMMA는 송신 신호의 constellation과 등화기 출력간의 likelihood값을 이용한 adaptive modulus 개념을 적용하여 오차 신호의 값을 얻을 수 있으므로 기존 SMMA 알고리즘을 적응 등화 성능을 개선시킬 수 있다. 등화 성능의 개선을 보이기 위한 성능 지수로는 등화기 출력 신호, 수렴 특성을 나타내는 잔류 isi와 최대 찌그러짐 및 알고리즘의 외부 잡음에 대한 강인성을 보이

기 위한 SER을 사용하였다. 2 장에서는 적응 등화기를 적용한 기저 대역 통신 시스템의 모델을 설명한 후 3 장에서는 SMMA 알고리즘 및 adaptive modulus 개념을 다룬다. 4 장에서는 시뮬레이션의 결과를 제시한 후 5 장에서는 결론을 내리겠다.

II. 본 론

1. 기저 대역 통신 시스템

그림 1은 2차원의 복소 QAM 신호를 적용한 통신 시스템의 송신부와 수신부를 나타내는 기저 대역 모델을 나타낸 것이다. 그림에서 Tx 와 Rx filter 및 스펙트럼 이동을 나타내는 변조와 복조기는 이상적으로 가정하자. 송신측에서 16-QAM과 같은 nonconstant modulus를 갖는 복소 형태의 신호 s_k 를 송신하면 대역 제한과 찌그러짐을 발생하는 임펄스 응답이 h_k 인 채널을 통과하면서 가우시안 잡음 n_k 가 추가되어 수신된다. 수신된 신호 r_k 는 응답이 f_k 인 등화기에 입력되어 채널에 의해 발생된 찌그러짐을 보상하여 z_k 를 얻게 된다. 이 출력 신호는 결정 장치 (decision device)를 통과하면서 송신 신호 s_k 의 추정치인 \hat{s}_k 를 얻게 된다. $s_k \approx \hat{s}_k$ 가 되기 위한 등화기의 응답 f_k 는 출력 신호 z_k 또는 결정 장치의 출력 \hat{s}_k 를 이용하여 modulus에 의존하는 오차 신호에 의한 적응 알고리즘을 적용하여 매 순간 변화시키게 된다. 이때 등화기 필터는 필터의 안정성이 보장되는 FIR (Finite Impulse Response)을 사용한다.

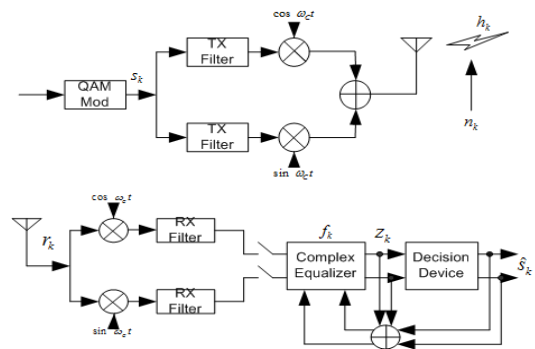


그림 1. 기저 대역 통신 시스템

Fig. 1. Baseband Communication System

2. SMMA 알고리즘

그림 1의 시스템에서 송신 복소 신호 s_k 는 임펄스 응답 h_k 인 채널을 통과하면서 잡음 n_k 가 부가되어 수신되는 신호 r_k 는 다음과 같다.

$$r_k = s_k * h_k + n_k \quad (1)$$

여기서 *는 convolution을 나타내는 기호이며, 식(1)의 신호는 수신측에서 유한 차수의 임펄스 응답 계수 f_k 인 등화 필터를 통하여 식(2)와 같은 출력 신호 z_k 를 얻으며 이를 결정 장치를 통해 복원된 \hat{s}_k 를 얻는다.

$$z_k = r_k \circledast f_k \quad (2)$$

적용 등화 알고리즘은 등화 필터 계수 f_k 에 대한 특정 비용 함수 J 를 최소화시키도록 오차 신호를 발생한 후 SGA (Stochastic Gradient Algorithm)를 적용하여 반복시킨다. 비용 함수는 적용 등화 알고리즘에 따라 상이하게 되며 MMA에서는 다음과 같다.

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

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

여기서 p 는 정수로서 일반적으로 2의 값을 많이 사용하며 z_{kr} , z_{ki} 는 등화기 출력 z_k 의 실수와 허수, s_{kr} , s_{ki} 는 송신 신호 s_k 의 실수와 허수를 각각 나타내며 R_{MMA}^p 는 p 차 multi modulus 또는 p 차 dispersion constant를 나타낸다. 식(3)의 MMA 비용 함수는 1차원적인 CMA 비용 함수를 2 개 더한 형태로 표시되므로 등화기 출력을 복소 평면에서 표시해보면 4개의 점 ($\pm R_{MMA} \pm jR_{MMA}$) 주위로 분포하게 된다. $p=2$ 인 MMA의 경우 오차 신호는 다음과 같다.

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

오차 신호를 이용하여 적용 등화 필터의 계수는 다음과 같이 갱신되어지며, μ 는 적용 스텝의 크기를 나타낸다.

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

SMMA는 CMA나 MMA보다 misadjustment의 영향을 줄이기 위해 등장하였다. misadjustment는 적용 필터가 최적치에 도달한 경우에도 스텝의 크기에 의해 최적치 주위에서 요동하는 현상으로 등화 잡음의 원인이 된다. QAM 신호에서 constellation과 비용 함수간의 mismatch

로 인하여 완전 등화 상태에서도 최적치 주위에서 jitter가 발생되므로 이를 줄이기 위해서는 스텝의 크기를 적게 하면 되지만 이는 수렴 속도와 관계가 있으므로 다음과 같이 정의되는 2 가지 misadjustment metric을 최소화하도록 비용 함수에 고려한다. QAM 신호의 대칭 특성 $E[|I_{kr}|^p] = E[|I_{ki}|^p]$ 을 이용하면 이들 metric은 다음과 같다.

$$\gamma_1 = E[|I_k|^2 \cdot I_{kr}^2 (I_{kr}^2 - R_{MMA}^2)^2] \quad (6)$$

$$\gamma_2 = E[|I_{kr}|^2] \cdot E[I_{kr}^2 (I_{kr}^2 - R_{MMA}^2)^2]$$

SMMA에서는 식(4)의 오차 신호 정의식에서 MMA의 dispersion constant R_{MMA}^2 에 결정 장치의 출력 \hat{s}_{kr} , \hat{s}_{ki} 의 절대치를 적절하게 가중치를 취하여 반영하며, 이를 slice 상수라고 부른다. 즉 같은 값을 갖는 $|\hat{s}_{kr}|$ 나 $|\hat{s}_{ki}|$ 의 심볼군에 대하여 독립적인 dispersion constant를 할당하는 비용 함수를 설정하게 된다. SMMA의 비용 함수는 다음과 같이 정의된다.

$$J = E[(|z_{kr}|^2 - |\hat{s}_{kr}|^c R_{MMA}^2)^2 + (|z_{ki}|^2 - |\hat{s}_{ki}|^c R_{MMA}^2)^2] \quad (7)$$

여기서 c 는 0과 1사이의 임의의 상수를 나타내며 0 인 경우에는 MMA에 해당한다. SMMA의 오차 신호와 탭 계수 갱신식은 다음과 같다.

$$\overline{e_{kmm}} = z_{kr}(|z_{kr}|^2 - |\hat{s}_{kr}|^c R_{MMA}^2) + j z_{ki}(|z_{ki}|^2 - |\hat{s}_{ki}|^c R_{MMA}^2) \quad (8)$$

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

SMMA의 등화 출력 z_{kr} , z_{ki} 는 $\text{sign}[z_{kr} \sqrt{|\hat{s}_{kr}|^c R_{MMA}^2}]$ 와 $\text{sign}[z_{ki} \sqrt{|\hat{s}_{ki}|^c R_{MMA}^2}]$ 의 contour에 존재하도록 탭 계수를 갱신하게 된다.

3. Adaptive Modulus 개념

MMA에서 constant modulus R_{MMA}^2 를 등화에 적용하는 대신 SER 성능 개선을 위하여 sliced symbol을 이용하는 SMMA에서 adaptive varying modulus 개념이 등장하였다. MMA는 등화기 출력을 $\pm \sqrt{R_{2R}}$ 와 $\pm \sqrt{R_{2I}}$ 의 점에 위치하도록 탭 계수를 갱신하게 된다. adaptive varying modulus에서 등화기 출력의 실수와 허수부는 그림 2와 같이 해당 실수부와 허수부에 가장 유사한 maximum likelihood 원칙을 적용하여 적용적으로 할당한다.

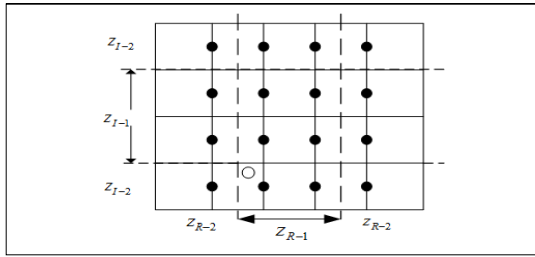


그림 2. 16-QAM에서 Likelihood zone
Fig. 2. Likelihood zone of 16-QAM

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 다음과 같다.

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

제안하는 adaptive varying modulus에서는 등화기 출력 신호의 값에 따라 식 (9) 및 가중 sliced symbol $|\hat{s}_k|^c$ 을 이용하여 오차 신호를 얻는 기준값이 되게 한다.

III. 컴퓨터 시뮬레이션

고정 dispersion contant에 의한 기존 SMMA 적응 등화 알고리즘에서 adaptive modulus와 slice 가중치값를 이용하는 AM-SMMA 알고리즘의 성능을 비교, 분석하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션에서는 신호대 잡음비를 30dB, 적응 스텝 크기 μ_k 는 0.0015, 등화기의 적응 필터 차수는 15차 FIR 및 slice 가중치 $c = 0.4$ 로 설정하였고, 송신 신호로는 16-QAM의 nonconstant modulus를 이용하였다. 송신 신호는 부호간 간섭을 발생시키는 통신 채널을 통과한 후 원하는 신호대 잡음비를 갖는 잡음 n_k 를 부가하여 수신 신호 r_k 을 얻었다. 그림 3은 시뮬레이션을 위한 신호 처리 과정을 나타낸 것이며, 그림 4는 부호간 간섭을 발생시키는 통신 채널의 임펄스 응답을 실수와 허수로 분리하여 나타낸 것이다.

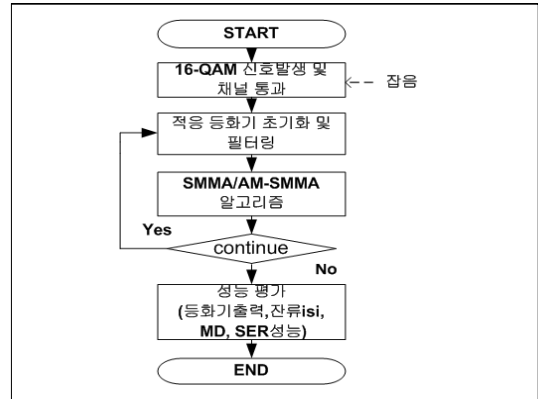


그림 3. 신호 처리 흐름도
Fig. 3. Signal processing flowdiagram

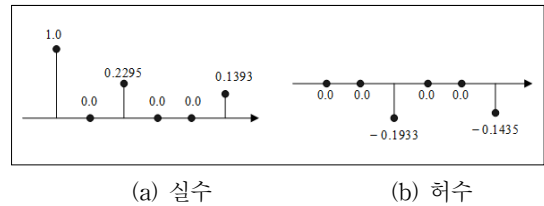


그림 4. 채널의 임펄스 응답 계수
Fig. 4. Impulse response coefficient of channel

그림 5는 정상 상태에서 적응 등화기의 첫 번째 성능 지수인 등화기 출력 신호의 정상도를 나타낸 것이다. 정상도에서 송신 신호점의 16개를 명확하게 알 수 있으며, 각 신호점간의 거리가 크며 신호점의 폭이 좁을수록 등화 능력이 우수하다. 정상도에서 제안 방식인 AM-SMMA가 기존 SMMA보다 신호점간의 거리가 멀고 신호점들의 폭이 좁으므로 적응 등화 능력이 우월함을 알 수 있다.

적응 등화기의 성능을 나타내는 내부 지수로 잔류 isi (residual isi)와 최대 찌그러짐 (maximum distortion) 을 사용하였다. 잔류 isi는 통신 채널 h_k 와 등화 필터 계수 f_k 가 완전 보상이 될 때 시간 영역에서는 임펄스 신호가 된다. 그러나 완전 보상은 불가능해 되어 임펄스 성분을 제외한 나머지 잔류 성분들의 전력 크기를 나타내며, 최대 찌그러짐은 잔여 성분들의 전압 크기를 나타낸다. 또한 이들 성능 곡선에서는 잔여 성분들의 크기뿐만 아니라 채널의 순시 변동에 빠르게 적응 여부를 나타내는 정상 상태까지의 도달 시간을 나타내는 수렴 시간 성능을 알 수 있다.

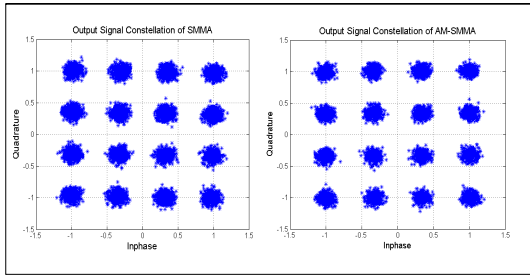


그림 5. 등화기 출력 신호 성상도
 Fig. 5 Equalizer Output signal constellation

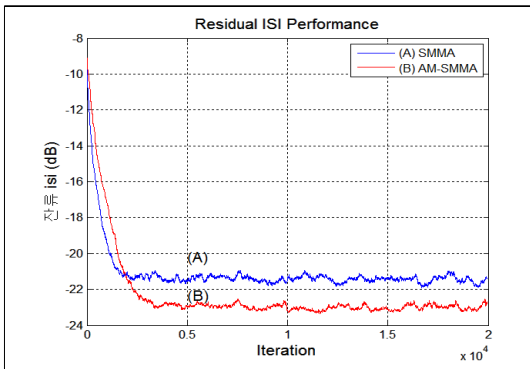


그림 6. 잔류 isi 성능
 Fig. 6. Residual isi performance

그림 6은 잔류 isi 성능을 나타낸 것으로서 두 가지 모두 양호한 수렴 특성을 가짐을 알 수 있지만, -20dB의 정상 상태에 도달하는데 기존 SMMA는 1104회, AM-SMMA는 1540회가 소요되어 수렴 속도에서는 기존 SMMA가 AM-SMMA보다 약 1.4배 정도 빠르지만, 정상 상태 이후의 잔여 성분들이 대략 2dB 정도 더욱 개선됨을 알 수 있다. 그림 7은 최대 찌그러짐 성능을 나타낸 것이며, 여기서도 그림 6과 유사한 성능 결과를 얻을 수 있다. 정상 상태에 도달하기 위한 수렴 속도는 이들 2 방식이 유사하지만, 정상 상태 이후부터는 AM-SMMA가 SMMA보다 약 0.1Volt 정도 더욱 개선됨을 알 수 있다.

그림 6, 7의 성능 비교 결과 정상 상태 이후부터는 제안 AM-SMMA 방식이 기존 SMMA보다 등화 성능이 우월함을 정성적으로 알 수 있었다. 또한 이에 대한 정량적인 평균값들을 표 1에 나타내었으며, 이들 성능 지수에서 평균값이 AM-SMMA가 SMMA보다 적음을 알 수 있다.

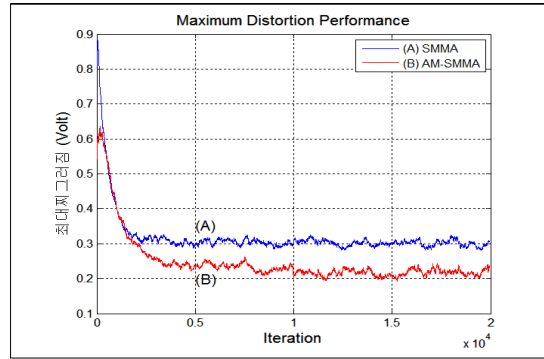


그림 7. 최대 찌그러짐 성능
 Fig. 7. Maximum distortion performance

표 1. 잔류 isi, 최대 찌그러짐의 평균값
 Table 1. Mean value of residual isi, MD

	SMMA	AM-SMMA
잔류isi	0.0073	0.0052
최대찌그러짐	0.3040	0.2295

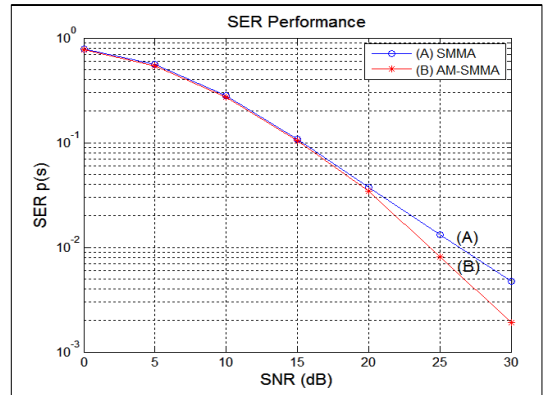


그림 8. SER 성능
 Fig. 8. SER Performance

그림 8은 SM-SMMA 적응 등화 알고리즘의 외부 잡음에 대한 강인성을 나타내는 신호대 잡음비에 따른 심볼 오류율 성능을 나타낸 것이다. 신호대 잡음비는 0~30dB 까지 5dB 단위로 변화시키면서 오류율을 계산하였으며 20000개의 16-QAM 신호에 대하여 5회 montecarlo 시뮬레이션한 결과이다. 신호대 잡음비가 0~20dB 정도에서는 기존 SMMA 와 AM-SMMA 가 비슷한 오류율을 얻을 수 있지만, 그상의 신호대 잡음비에서는 AM-SMMA가 기존 SMMA 보다 우월한 성능을 얻을 수 있음을 알 수 있어서 심볼 오류율이 10^{-2} 의 경우 약 2dB 정도의 등화 이득 (equalization gain)을 얻을 수 있다.

V. 결론

논문에서는 16-QAM를 송신할 때 채널에서 발생하는 찌그러짐에 의한 부호간 간섭을 최소화하기 위하여 사용되는 SMMA 적응 등화기의 성능을 개선할 수 있는 AM-SMMA 알고리즘을 다루었다. SMMA에서는 결정 장치의 sliced 심볼을 이용한 constant modulus를 이용하지만, AM-SMMA에서는 등화기 출력에 비례하는 adaptive modulus와 sliced 심볼을 이용하여 오차 신호를 발생한다. 제안 AM-SMMA의 개선된 등화 성능을 확인하기 위해 등화기 출력 성장도와 잔류 isi, 최대 찌그러짐 및 SER을 적용하여 기존 SMMA와 비교하였다. 결과 정상 상태에 도달하기 위한 수렴 속도에서는 잔류 isi는 AM-SMMA가 SMMA보다 대략 1.4배 정도 느렸으나, 정상 상태 이후부터는 2dB 정도 개선되었다. 또한 최대 찌그러짐은 경우 수렴 속도는 동일하였으며, 정상 상태 이후부터는 대략 0.1Volt 정도 개선됨을 알 수 있었다. SER 성능에서는 신호대 잡음비가 20dB 이상에서는 개선된 오율 특성을 얻을 수 있어서 오류율 10^{-2} 에서 약 2dB의 등화 이득 (Equalization Gain)을 얻었다. 제안 AM-SMMA 알고리즘은 기존 방식보다 등화기 내부와 외부 성능에서 개선된 성능을 얻을 수 있어서 개선된 채널 등화가 가능케 되어 찌그러짐이 많은 채널에서 이용될 수 있음을 확인하였다.

References

- [1] J.Yang, J.J.Werner, G.A.Dumont, "The Multimodulus Blind Equalization and Its Generalized Algorithms", IEEE Journal on S.A.C., Vol.20, No.3, pp.997~1015, June 2002.
- [2] S.Abrar, R.A.Axford, "Sliced Multi-modulus Blind Equalization Algorithm", ETRI Journal, Vol.27, No.3, pp.257~266, June 2005.
- [3] S.A.Sheikh, P.Fan, "Two efficient adaptively varying modulus blind equalizers : AVMA and DM/AVMA", Digital Signal Processing 16, pp.832~845, 2006.
- [4] S.G.Lim, "Performance Comparison of S-MMA Adaptive Equalization Algorithm by Slice

Weighting Value in 16-QAM Signal", Jour. of I.W.I.T., Vol.13, No.3, pp.55~61, June. 2013.

- [5] J.Yang, J.J.Werner, G.A.Dumont, "The Multimodulus Blind Equalization Algorithm", 13th International Conf. on D.S.P Proceeding Vol.1, pp.127~130, 1997.
- [6] 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.
- [7] Z.Liyi, C.Lei, S.Yunshan, "Variable Step-size CMA Blind Equalization based on Non-linear Function of Error Signal", Int. Conf. on Comm. and Mobile Computing, pp.396~399, 2009.
- [8] K.N.Oh, "An Algorithm for Variable Step-Size Improving Steady-State Performance of Blind Equalization", Jour. of K.I.I.T., Vol. 9, No. 10, pp.43~48, Oct. 2011

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>