

<https://doi.org/10.7236/IIBC.2017.17.4.123>

IIBC 2017-4-15

적응 모듈러스와 적응 스텝 크기를 적용한 Hybrid-SMMA 등화 알고리즘의 성능 평가

Performance Evaluation of Hybrid-SMMA Equalization Algorithm based on Adaptive Modulus and Adaptive Stepsize

임승각*

Seung-Gag Lim*

요약 본 논문은 SMMA (Sliced Multi Modulus Algorithm) 등화 알고리즘에서 등화기의 출력 전력에 비례하는 adaptive modulus와 adaptive stepsize를 적용함으로써 등화 성능을 개선할 수 있는 Hybrid-SMMA 알고리즘에 관한 것이다. 기존 SMMA 알고리즘에서는 등화기의 탭 계수 갱신을 위한 오차 신호를 발생할 때 송신측 신호의 통계 특성치인 modulus를 고정적으로 사용하지만, 제안 Hybrid-SMMA에서는 등화기 출력 신호의 전력에 비례하도록 modulus와 오차 신호의 비선형성을 이용하여 stepsize를 적응적으로 변화시킨다. 제안 알고리즘의 개선된 등화 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 확인하였으며, 시뮬레이션 결과 제안 방식이 기존 SMMA보다 모든 성능에서 우월함을 확인하였다.

Abstract This paper relates with the Hybrid-SMMA adaptive equalization algorithm that is possible to improve the equalization performance based on adaptive modulus and adaptive stepsize which is proportional to the output power of equalizer in the current SMMA (Sliced Multi Modulus Algorithm). The fixed statistic modulus of transmitted signal is used in current SMMA algorithm in order to generate the error signal for updating the tap coefficient of equalizer. The proposed Hybrid-SMMA based on the adaptive modulus which is proportional to the equalizer output signal power and adaptive stepsize which is function of the nonlinearities of error signal. The computer simulation was performed in order to confirm the improved equalization performance of proposed algorithm. As a result of computer simulation, the proposed Hybrid-SMMA has fairly good in every performance than the current SMMA.

Key Words : SMMA, Adaptive Modulus, Adaptive stepsize, Residual isi, Maximum Distortion

1. 서론

지난 수십 년 동안 디지털 이미지와 동영상 비디오와 같은 멀티미디어 데이터를 전송하는 무선 통신 시스템에서 대역폭 제한 및 부호간 간섭같은 채널 손상에 관한 문제점을 해결하기 위한 많은 연구가 이루어졌다.

또한 이동 멀티미디어 통신 시스템에서 주요한 이슈는 통신 채널 성능과 시스템 Latency 및 무선 단말과 장치들 통해 수신되는 멀티미디어 데이터의 허용할 수 있는 성능의 열화이다. 이들은 무선 채널 조건의 시변 특성과 전파 전파 환경이라는 무선 통신 시스템의 고유한 특성이 주된 원인이 되며, 멀티미디어 데이터를 전송하기

*정회원, 공주대학교 정보통신공학부
접수일자: 2017년 6월 21일, 수정완료: 2017년 7월 21일
게재확정일자: 2017년 8월 11일

Received: 21 June, 2017 / Revised: 21 July, 2017

Accepted: 11 August, 2017

*Corresponding Author: sglim@kongju.ac.kr

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

위하여 시스템에서 사용 가능한 대역폭과 통신 단말의 처리 능력은 심하게 제약을 받는다^{[1][2]}. 따라서 이동 무선 채널을 이용하는 멀티미디어 데이터의 고속 전송을 위한 다양한 안테나 기술과 채널 코딩과 같은 전송 기술들이 등장하였으며, 특히 채널에서 발생하는 부호간 간섭에 관련된 문제를 줄이기 위한 채널 등화 기술은 필수적인 기술이다^[3]. 채널 등화를 위해서는 채널의 전달 함수를 추정하는 기술과 추정된 함수의 역함수를 구하는 2가지 과정이 필요하며, 추정을 위해서는 학습열을 사용하여야 한다. 그러나 학습열에 의한 대역폭 낭비와 전송 효율 저하 및 이의 사용이 부적합한 통신 환경이 있으므로, 이에 의존하지 않는 블라인드 적응 등화 방식이 최근 많은 관심을 받고 있다^[5]. 블라인드 방식에서는 송신 신호의 constant modulus에 의존하지만 등화 방식으로서 정상 상태에 도달하기 위한 수렴 시간과 채널 추적 능력과 정상 상태 이후 부호간 간섭 잔여량이 학습열 방식보다 많아지는 등화 성능이 저하되는 문제점이 있으므로, 최근에는 이를 개선하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. blind 등화를 위한 적응 알고리즘은 CMA와 MMA가 있다. CMA는 비교적 간단한 연산량으로 실시간 응용이 가능하며 수신 신호의 진폭만 보상하지만, 위상 보상이 불가능한 단점이 있다. 반면 MMA는 진폭과 위상의 동시 보상을 할 수 있는 능력을 갖지만, 높은 스펙트럼 효율 특성을 갖는 신호 방식에서 등화 성능이 저하되는 문제점이 있다^{[2][6]}. SMMA (Sliced MMA)는 MMA의 단점을 개선시키고 정상 상태에서 misadjustment에 의한 등화 잡음이 줄이기 위하여 등장하였으며^[2], MMA에 사용되는 constant modulus에 결정 장치의 sliced output을 가중치만큼 고려한 개량된 modulus를 이용하지만, 본 논문에서는 송신 신호의 constellation과 등화기 출력간의 likelihood값을 이용한 adaptive modulus와 탭 계수 갱신을 위한 오차 신호의 비선형성을 이용한 adaptive stepsize를 동시에 적용한 Hybrid-SMMA 알고리즘을 제안하며, 이의 개선된 적응 등화 능력을 컴퓨터 시뮬레이션으로 확인한다. 2 장에서는 적응 등화기를 적용한 통신 시스템 모델을 설명한 후 3 장에서는 SMMA 알고리즘과 adaptive modulus와 adaptive stepsize 개념을 다룬다. 4 장에서는 시뮬레이션의 과정 및 결과를 제시한 후 5 장에서는 결론을 내리겠다.

II. 본 론

1. 통신 시스템 모델

그림 1은 2차원 복소 신호를 적용한 통신 시스템의 송신부와 수신부를 나타내는 모델을 나타낸 것이다. 그림에서 Tx와 Rx filter 및 스펙트럼 이동을 나타내는 변조와 복조 ($\cos \omega_c t, \sin \omega_c t$)는 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 부가되어 수신된다.

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

식 (1)에서 *는 convolution을 나타내며, r_k 는 응답이 f_k 인 복소 등화기에 입력되어 채널에 의한 부호간 간섭이 보상된 z_k 를 얻는다. 이 출력 신호는 결정 장치(decision device)를 통과하면서 송신 신호 s_k 의 추정치인 \hat{s}_k 를 얻게 된다.

$$z_k = r_k * f_k, \quad \hat{s}_k = \text{decision}(z_k) \quad (2)$$

$s_k \approx \hat{s}_k$ 가 되기 위한 등화기의 응답 f_k 와 채널의 임펄스 응답 h_k 간에는 다음의 관계가 성립되어야 한다.

$$f_k * h_k = \delta_k \quad (3)$$

식 (3)을 위해서 등화기 응답 f_k 는 채널의 응답 h_k 의 역함수 관계가 되어야 한다.

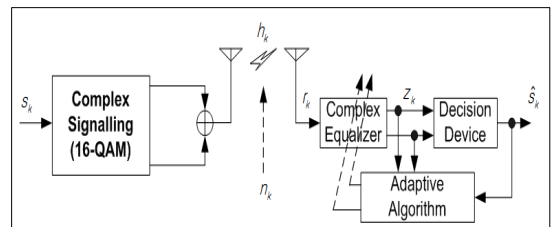


그림 1. 통신 시스템 모델

Fig. 1. Communication system model

2. SMMA 알고리즘

그림 1의 시스템 모델에서 적응 등화 알고리즘은 등화 필터 계수 f_k 에 대한 특정 비용 함수 J 를 최소화시키도록 LMS (Least Mean Square)를 적용하여 반복시킨다. 비용 함수는 적응 등화 알고리즘에 따라 상이하게 되며

기존 MMA에서는 다음과 같다.

$$J_{\text{MMA}} = E\{(|z_{\text{kr}}|^2 - R_{\text{MMA}})^2 + (|z_{\text{ki}}|^2 - R_{\text{MMA}})^2\} \quad (4)$$

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

여기서 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} 는 constant modulus이다. 식(4)의 MMA 비용 함수는 등화기 출력을 복소 평면에서 표시해보면 4개의 점 ($\pm R_{\text{MMA}}$, $\pm jR_{\text{MMA}}$) 주위로 분포하게 되며, 오차 신호는 다음과 같다.

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

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

$$f_{k+1} = f_k - \mu \overline{e_{\text{kMMA}}} r_k^* \quad (6)$$

SMMA는 MMA의 탭 계수 적용에 의한 misadjustment에 의한 등화 잡음을 줄이기 위해 등장하였다. misadjustment는 적응 필터가 최적치에 도달한 경우에도 스텝의 크기에 의해 최적치 주위에서 요동하는 현상으로 등화 잡음의 원인이 된다. QAM 신호에서 constellation과 비용 함수간의 mismatch로 인하여 완전 등화 상태에서도 최적치 주위에서 jitter가 발생되므로 이를 줄이기 위해서는 스텝의 크기를 적게 하면 되지만 이는 수렴 속도와 관계가 있으므로 다음의 2 가지 misadjustment metric을 최소화하도록 비용 함수에 고려한다. QAM 신호의 대칭 특성 $E[|I_{\text{kr}}|^p] = E[|I_{\text{ki}}|^p]$ 를 이용하면 이들 metric은 다음과 같다.

$$\gamma_1 = E[|I_{\text{kr}}|^2 \cdot I_{\text{kr}}^2 (I_{\text{kr}}^2 - R_{\text{MMA}}^2)^2] \quad (7)$$

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

SMMA는 식(4)의 오차 신호에서 MMA의 constant modulus R_{MMA} 에 결정 장치의 출력 \widehat{s}_{kr} , \widehat{s}_{ki} 의 절대치를 적절하게 가중치를 취하여 오차 신호를 발생하므로, 이를 slice 상수라고 부른다. 즉 같은 값을 갖는 $|\widehat{s}_{\text{kr}}|$ 나 $|\widehat{s}_{\text{ki}}|$ 의 심볼군에 대하여 독립적인 constant modulus를

할당하는 비용 함수를 설정하며 SMMA의 비용 함수는 다음과 같이 정의된다.

$$J = E\{(|z_{\text{kr}}|^2 - |\widehat{s}_{\text{kr}}|^c R_{\text{MMA}})^2 + (|z_{\text{ki}}|^2 - |\widehat{s}_{\text{ki}}|^c R_{\text{MMA}})^2\} \quad (8)$$

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

$$\overline{e_{\text{kSMMA}}} = z_{\text{kr}}(|z_{\text{kr}}|^2 - |\widehat{s}_{\text{kr}}|^c R_{\text{MMA}}) + j z_{\text{ki}}(|z_{\text{ki}}|^2 - |\widehat{s}_{\text{ki}}|^c R_{\text{MMA}}) \quad (9)$$

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

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

3. Adaptive Modulus 개념

MMA에서 오차 신호 발생을 위하여 constant modulus R_{MMA} 를 이용하는 대신 SER 성능 개선을 위하여 sliced symbol을 이용하는 SMMA에 adaptive modulus 개념을 적용한다. adaptive modulus에서 등화기 출력의 실수와 허수부는 그림 2와 같이 해당 실수부와 허수부에 가장 유사한 maximum likelihood 원칙을 적용하여 오차 신호를 발생하며 적응적으로 할당한다.

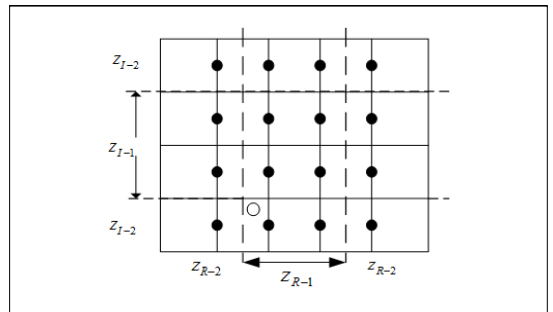


그림 2. 16-QAM에서 Likelihood zone
 Fig. 2. Likelihood zone of 16-QAM

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.

$$\begin{aligned} \text{If } z_{Rk} \in Z_{R-1} & \text{ then } R_{Hy-SMMAR} = \pm 0.3153 & (10) \\ \text{If } z_{Rk} \in Z_{R-2} & \text{ then } R_{Hy-SMMAR} = \pm 0.946 \\ \text{If } z_{Ik} \in Z_{I-1} & \text{ then } R_{Hy-SMMAI} = \pm 0.3153 \\ \text{If } z_{Ik} \in Z_{I-2} & \text{ then } R_{Hy-SMMAI} = \pm 0.946 \end{aligned}$$

4. Adaptive stepsize 개념

적응 등화기의 탭 계수 갱신을 위한 step size의 큰 값은 정상 상태에 도달하기 위한 수렴 속도는 빠르지만, 정상 상태 이후부터의 잔여량을 크게 한다. 반면 이를 적게 하면 수렴 속도는 느리지만, 정상 상태 이후부터의 잔여량을 적게 한다. 이와 같은 상반된 조건을 절충하기 위하여 adaptive step size가 등장하였으며, 정상 상태에 도달한 후에도 강한 채널의 간섭이 존재하다면 인위적으로 오차 신호는 커지므로 이를 방지하기 위하여 오차 신호를 적절한 변환 과정을 거쳐 비선형 함수를 이용한 step size 제어에 사용한다. Hybrid-SMMA에서 adaptive stepsize μ 는 비선형 함수인 지수 함수를 이용하여 변환한다.

$$\mu_k = \beta[1 - \exp(-\alpha|e_k|)] \quad (11)$$

여기서 β 는 proportionality factor로 adaptive step size μ_k 값을 제어하며, α 는 스텝 크기의 변화하는 속도를 제어한다. adaptive modulus와 adaptive stepsize 개념을 조합한 제안 Hybrid-SMMA 알고리즘에서 오차 신호와 탭 계수 갱신식은 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} e_{kHy-SMMA} &= z_{(k)r} (|z_{(k)r}|^2 - |s_{kr}|^c R_{Hy-SMMAR}) + \\ & \quad j z_{(k)i} (|z_{(k)i}|^2 - |s_{ki}|^c R_{Hy-SMMAI}) \\ f_{k+1} &= f_k - \mu_k e_{kHy-SMMA}^* \end{aligned} \quad (12)$$

III. 컴퓨터 시뮬레이션

Hybrid-SMMA 적응 등화 알고리즘의 성능을 기존 SMMA와 비교, 분석하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 신호대 잡음비를 30dB, 적응 스텝 크기 μ 는 SMMA는 0.0015, Hybrid-SMMA는 최대값으로 0.0015

로 설정한 후 이를 초과하지 않도록 변화시키고, 등화기의 필터 차수는 15차 FIR 및 slice 가중치 $c=0.4$, 송신 신호로는 16-QAM을 이용하였다. 송신 신호는 부호간 간섭을 발생시키는 그림 3의 복소 채널을 통과한 후 원하는 신호대 잡음비를 갖는 잡음 n_k 를 추가하여 수신 신호 r_k 을 얻었다. 그림 4는 시뮬레이션을 위한 전체 신호 처리 과정을 나타내었다.

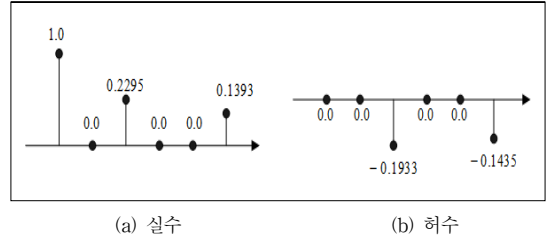


그림 3. 채널의 계수
Fig. 3. Coefficient of channel

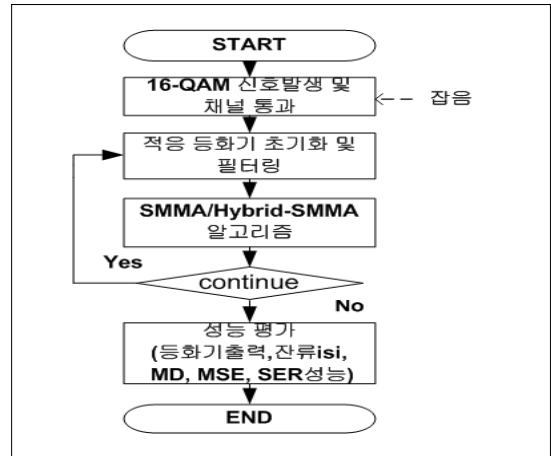


그림 4. 전체 신호 처리도
Fig. 4. Overall signal processing flowgram

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 거리 d 가 커서 심볼을 결정할 때 오류 발생 가능성을 줄일 수 있고, 각 신호점의 폭 w 가 좁을수록 등화 능력이 우수한 알고리즘이 된다. SMMA는 대략 $d=0.637$, $w=0.395$ 이며, 제안 방식인 Hybrid-SMMA는 $d=0.643$, $w=0.34$ 정도가 되어 Hybrid-SMMA가 적응 등화 능력이 월등함을 알 수 있다.

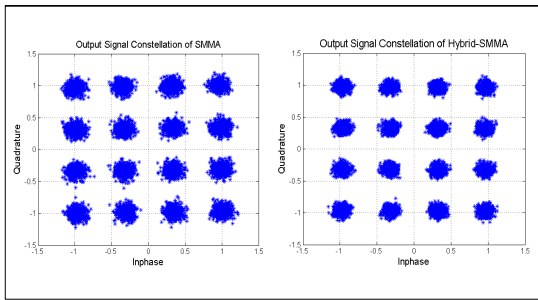


그림 5. 등화기 출력 신호 성상도
 Fig. 5. Equalizer Output signal constellation

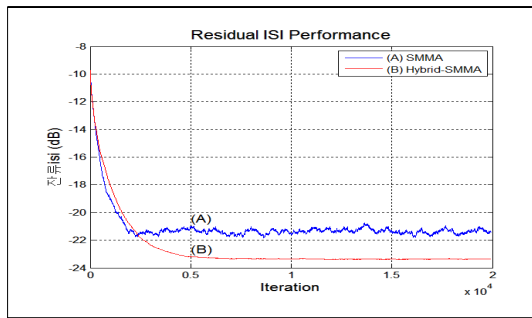


그림 6. 잔류 isi 성능
 Fig. 6. Residual isi performance

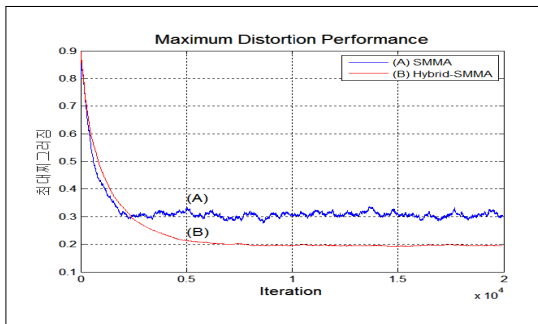


그림 7. 최대 찌그러짐 성능
 Fig. 7. Maximum distortion performance

적용 등화기의 성능을 나타내는 내부 지수로 잔류 isi (residual isi)와 최대 찌그러짐 (maximum distortion)과 MSE를 사용하였다. 이들의 3 가지 지수로부터는 정해진 정상 상태까지 도달하는데 소요되는 수렴 속도 (채널 추적 능력)와 정상 상태 이후부터의 잔류량을 알 수 있다. 그림 6의 잔류 isi에서 -20dB의 정상 상태에 도달하는 수렴 속도에서는 SMMA는 1301회, Hybrid-SMMA는 1578회가 소요되며, 정상 상태 이후의 잔류 성분 크기에 서 SMMA는 -21.33dB, Hybrid-SMMA는 -23.1dB가

얻어졌다. 그림 7은 최대 찌그러짐 성능을 나타낸 것이며, 0.35의 정상 상태에 도달하기 위한 수렴 속도에서 SMMA는 1574회, Hybrid-SMMA는 1804회가 소요되며, 정상 상태 이후의 잔류 성분에서 SMMA는 -10.25dB, Hybrid-SMMA는 -13.61dB가 얻어졌다.

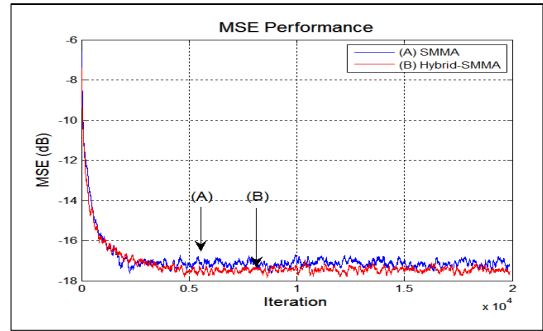


그림 8. MSE 성능
 Fig. 8. MSE performance

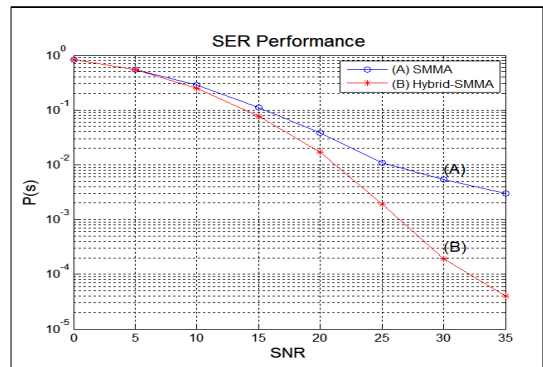


그림 9. SER 성능
 Fig. 9. SER Performance

그림 8은 MSE 성능을 나타낸 것으로 -16dB의 정상 상태에 도달하기 위한 수렴 속도에서 SMMA는 958회, Hybrid-SMMA는 952회가 소요되어 이들의 속도는 큰 차이가 없으며, 정상 상태 이후의 잔류 성분에서 SMMA는 -17.10dB, Hybrid-SMMA는 -17.35dB가 얻어졌다.

그림 9는 Hybrid-SMMA 적용 등화 알고리즘의 외부 부가 잡음에 대한 강인성을 나타내는 SER 성능을 나타낸 것이다. 신호대 잡음비는 0~35dB 까지 5dB 단위로 변화시키면서 20,000개의 16-QAM 신호에 대하여 5회 반복 전송할때의 결과이다. 신호대 잡음비가 0~10dB 정도에서는 기존 SMMA 와 Hybrid-SMMA가 비슷하거나 미소의 우월한 오류율을 얻을 수 있지만, 그 이상의 신호

대 잡음비에서는 Hybrid-SMMA가 SMMA 보다 매우 우월한 성능을 얻을 수 있었다. 따라서 adaptive modulus와 adaptive stepsize 개념을 적용하기 위해서는 통신 채널에서 신호대 잡음비가 최소한 10dB 이상이 확보 가능할 때 최대 성능을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

V. 결론

논문에서는 16-QAM를 송신할 때 채널에서 발생하는 부호간 간섭을 최소화하기 위하여 사용되는 SMMA 적용 등화기에 adaptive modulus와 adaptive stepsize 개념을 적용한 Hybrid-SMMA 알고리즘의 성능을 비교, 분석하였다. SMMA에서는 결정 장치의 sliced 심볼을 이용한 constant modulus를 이용하여 오차 신호를 발생한 후 고정된 stepsize에 의한 적응 등화기의 탭 계수를 갱신하지만, Hybrid-SMMA에서는 오차 신호 발생을 위하여 등화기 출력에 비례하는 adaptive modulus와 sliced 심볼을 이용하여 오차 신호의 비선형성을 이용한 adaptive stepsize를 이용하여 탭 계수를 갱신토록 한다. 제안 Hybrid-SMMA의 개선된 등화 능력을 확인키 위하여 등화기 출력 성장도와 잔류 isi, 최대 찌그러짐, MSE 및

SER을 적용하여 기존 SMMA와 비교하였다. 시뮬레이션 결과 정상 상태에 도달하기 위한 수렴 속도에서는 기존 SMMA보다 미미하게 느려졌지만, 정상 상태 이후의 잔류양에서 잔류 isi는 -2dB, 최대 찌그러짐은 -3.4dB, MSE는 -0.25dB 개선됨을 확인하였다. 특히 적응 등화 알고리즘의 잡음에 대한 강인성을 나타내는 SER 성능에서는 신호대 잡음비 10dB 이상에서는 우월한 성능을 얻을 수 있음을 확인하였다. 따라서 Hybrid-SMMA 알고리즘은 신호대 잡음비가 10dB 이상 확보되는 통신 채널 환경에서 고속 디지털 데이터 전송 시 발생하는 부호간 간섭을 효과적으로 경감할 수 있음을 알 수 있었다.

References

- [1] A.Ozen, I.Kaya, B.Soydal, "Variable Step-Size Constant Modulus Algorithm Employing Fuzzy Logic Controller", *Wireless Pers. Commun.* 54, pp.237~249, 2010.
- [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.
DOI: 10.1109/INMIC.2005.334416
- [4] M.A.Demir, A.Ozen, "A Novel Variable Step Size Adjustment Method Based on Autocorrelation of Error Signal for the Constant Modulus Blind Equalization Algorithm", *Radio Engineering*, Vol.21, No.1, pp.37~45, April 2012.
DOI: 10.1109/SIU.2010.5653136
- [5] 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.
DOI: 10.1109/CMC.2009.77
- [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] 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.

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>