

<https://doi.org/10.7236/IIBC.2017.17.1.83>

IIBC 2017-1-11

Adaptive Modulus와 Adaptive Step Size를 이용한 H-MMA 적응 등화 알고리즘의 성능 평가

Performance Evaluation of H-MMA Adaptive Equalization Algorithm using Adaptive Modulus and Adaptive Step Size

임승각*

Seung-Gag Lim*

요약 본 논문은 디지털 부호를 전송할 때 통신 채널에서 발생하는 부호간 간섭을 줄일 수 있는 MMA (Multiple Modulus Algorithm) 적응 등화 알고리즘에 adaptive modulus와 adaptive step size 개념을 적용한 H-MMA (Hybrid-MMA) 알고리즘의 등화 성능평가에 관한 것이다. 기존의 MMA 적응 등화기의 탭 계수 갱신은 등화기 출력을 이용하여 오차 신호를 얻게 되므로 2차원 QAM 신호에서 진폭과 위상을 보상할 수 있지만, 이때 스텝 크기와 modulus는 고정되므로 등화 성능이 저하된다. 이와 같은 문제점을 개선하기 위하여 등화기 출력 신호의 크기에 비례하도록 adaptive modulus와 적응 스텝 크기를 변화시킬 수 있는 Hybrid adaptive 개념을 MMA에 적용하므로써 2차원 QAM 신호에서 등화 성능을 개선할 수 있다. 논문에서 제안하는 H-MMA 알고리즘의 성능을 기존의 MMA 알고리즘과 비교하기 위하여 동일한 채널에서 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과 수렴 속도에서는 제안 H-MMA가 MMA보다 다소 느려지지만, 정상 상태 이후 모든 성능 지수에서 훨씬 우월하며 등화 잡음이 감소됨을 확인하였다.

Abstract This paper related with the performance evaluation of H-MMA (Hybrid-MMA) which is applying the adaptive modulus and adaptive step size concept to MMA adaptive equalization algorithm in order to reduce the intersymbol interference that is occurred in communication channel for digital code transmission. In the conventional MMA adaptive equalizer, the coefficient is updated by using the equalizer output and possible to compensation of amplitude and phase in 2nd dimensional QAM signal, the equalization performance were degraded due to fixed modulus and step size. For the overcoming the abovementioned problem, it is possible to improving the equalization performance in the 2nd dimensional QAM signal by applying the adaptive modulus and adaptive step size propotional to equalizer output signal to the conventional MMA algorithm. The computer simulation was performed in the same channel for the compare the performance of MMA and proposed H-MMA which is proposed in this paper. As a result of simulation, the proposed H-MMA has slower convergence time in order to arriving the steady state than MMA. But after the steady state, H-MMA has more superior to the MMA in every performance index and the equalization noise was reduced.

Key Words : MMA, Adaptive Modulus, Adaptive Step Size, Residual isi, Maximum Distortion

*정희원, 공주대학교 정보통신공학부
접수일자 : 2016년 11월 8일, 수정완료 : 2016년 12월 18일
게재확정일자 : 2017년 2월 3일

Received: 8 November, 2016 / Revised: 18 December, 2016 /
Accepted: 3 February, 2017

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

I. 서 론

스마트 통신 단말이 보급되면서 언제, 어디서, 어떤 정보를 자유롭게 손쉽게 주고 받을 수 있는 멀티미디어 통신 시대가 도래하였다. 이와 같은 모든 정보원들은 디지털 형식으로 변환, 가공, 처리된 후 유선과 무선 채널을 통해 수신측으로 전송되어야 하는데, 이와 같은 전송 분야중에서도 무선 전파를 사용하므로써 시간, 공간 개념을 초월한 통신이 가능케 된다^{[1][2]}. 그러나 전파를 사용할 때의 통신 채널은 자연적인 요인과 인위적인 요인들로 인하여 다중 경로에 의한 페이딩과 전송 손실과 대역 제한등이 존재하므로 수신되는 신호는 품질이 매우 열악해 지므로 비트 오류이나 심볼 오류가 증대되어 전체 통신 시스템의 throughput이 저하된다. 이를 해결할 수 있는 기술적인 대책으로 적응 등화기가 있다^{[3][4]}. 적응 등화기는 시간에 따라 변동하는 채널의 역전달 특성을 갖도록 탭 계수를 조정할 수 있는 디지털 필터를 말하며, 빠른 수렴 시간내에 정상 상태로 채널에서 발생하는 찌그러짐에 의한 부호간 간섭을 보상할 수 있는 능력을 가져야 한다. 이와 같은 목적으로 사용되는 최초의 적응 등화 알고리즘으로는 Godard등이 제안한 CMA가 있으며, 송신 신호의 고차 통계치인 modulus를 이용하여 채널에서 발생한 부호간 간섭의 원인이 되는 진폭에 대해서는 보상할 수 있지만, 위상은 불가능한 문제점이 있다. 이후 MMA가 등장하여 진폭과 위상의 동시 보상은 가능하지만 등화 성능이 CMA보다 열화되므로, 이를 개선하기 위하여 다양한 S-MMA, CR-MMA 알고리즘등이 등장하고 있다. 본 논문에서도 MMA 알고리즘의 성능을 개선하기 위하여 adaptive modulus와 adaptive step size 개념을 MMA에 적용한 H-MMA (Hybrid MMA) 알고리즘에 관한 것이며^{[4][5]}, 이의 개선된 등화 성능을 확인하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 논문의 구성으로 2장에서는 적응 등화기를 사용하는 기저 대역 통신 모델과 기본적인 MMA 알고리즘과 adaptive modulus와 adaptive step size 개념을 소개한 후 이를 적용한 H-MMA 알고리즘에 대해 설명한다. 3장에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 위한 환경과 파라미터 값의 정의 및 적응 등화기의 성능 지수인 복원 정상도, 잔류 isi 와 MD, SER에 대한 시뮬레이션 결과를 제시하고, 마지막으로 4장에서는 결론을 내리겠다.

II. 본 론

1. 적응 등화기를 사용하는 통신 시스템 모델

그림 1은 수신기에서 MMA 또는 H-MMA 적응 등화기를 사용한 통신 시스템의 모델을 나타낸 것이다. 송신측에서 기저 대역 신호 s_k 를 전송하면 스펙트럼 제한을 위한 raised cosine 송신 필터를 통과한 후 부호간 간섭 영향을 발생하는 임펄스 응답이 h_k 인 채널을 통하여 수신측에 전달되며, 이때 채널에서는 일정한 신호대 잡음 전력비를 갖는 잡음 n_k 가 부가된다. 수신측에서는 수신 필터를 사용하여 관심 대역의 신호를 통과시킨 후 등화기에 인가된다. 이 과정에서 계수가 f_k 인 적응 등화기 필터의 전달 함수 $F(\omega)$ 는 통신 채널의 역함수를 갖도록 설정되어 부호간 간섭과 잡음의 영향을 최소화시킨다. 이 신호는 결정 장치에서 송신 기저 대역 신호 \hat{s}_k 를 추정하게 된다. 논문에서는 송신 필터와 수신 필터는 이상적으로 간주하여 무시하며, 등화기의 출력 z_k 를 이용하여 오차 신호를 발생한 후 새로운 등화기 탭 계수로 update 하면서 적응 등화를 수행한다. 완전 등화 상태에서 채널 임펄스 응답 h_k 와 등화기 디지털 필터 계수 f_k 의 convolution 결과는 임펄스가 되며, 지연 시간은 무시한다.

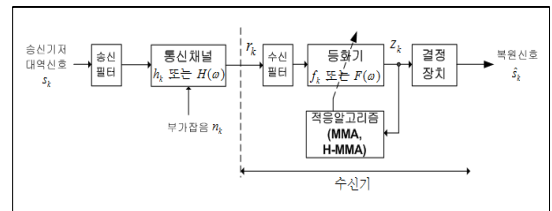


그림 1. 통신 시스템 모델
Fig. 1. Communication system model

2. Multiple Modulus Algorithm

그림 2는 MMA 등화 알고리즘에서 오차 신호의 발생을 위하여 송신 신호의 constellation과 등화기 출력 신호 z_k 및 송신 신호의 dispersion constant R_{MMA}^2 를 나타내는 영-오차 윤곽선을 나타낸 것이다. 출력 신호 z_k 는 그림의 영-오차 윤곽선상에서 일정한 constant (moduli)의 단일 정사각형이 되도록 조정되며 이와 실제 출력 신호 z_k 와의 오차 신호 e_k 는 실수부 e_r 와 허수부 e_i 로 나뉘

어 진폭과 위상 정보를 갖게 된다. MMA 적응 등화 알고리즘에서 실수부와 허수부에 대한 constant R_{MMA}^2 는 등화기 출력 z_{kr}, z_{ki} 가 위치하는 복소 평면에 의해 결정되어진다. 이는 CMA와 비교하면 2차원 비용 함수를 조합하여 1차원으로 처리하며, 등화기 출력의 분포에 따라 실수부의 R_{MMA}^2 와 허수부의 R_{MMA}^2 를 사용하는 것이다. MMA는 다음과 같이 정의되는 비용 함수 J 를 최소화시키도록 반복하면서 등화기 탭 계수를 갱신한다.

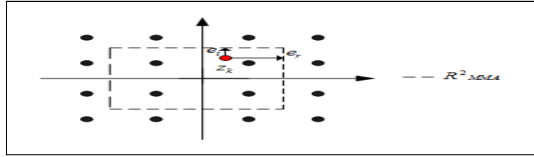


그림 2. MMA의 영-오차 윤곽선
 Fig. 2. Zero-error contour of MMA

$$J = E[(|z_{kr}|^2 - R_{MMA}^2)^2 + (|z_{ki}|^2 - R_{MMA}^2)^2] \quad (1)$$

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

여기서 z_{kr}, z_{ki} 은 z_k 의 실수와 허수, s_{kr}, s_{ki} 은 s_k 의 실수와 허수를 각각 나타낸다. 식(1)의 비용 함수는 1차원 CMA 비용 함수를 2개 더한 형태로 표시됨을 알 수 있으며 오차 신호와 등화 필터 계수의 갱신식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \overline{e_{kMMA}} &= z_{kr} (|z_{kr}|^2 - R_{MMA}^2) + j z_{ki} (|z_{ki}|^2 - R_{MMA}^2) \quad (2) \\ f_{k+1} &= f_k - \mu \overline{e_{kMMA}} r_k^* \end{aligned}$$

여기서 μ 는 적응을 위한 스텝 크기를 나타내며 고정된 값을 이용한다.

3. Adaptive Modulus와 Adaptive Step Size

가. Adaptive Modulus

constant modulus R_{MMA}^2 를 등화에 적용하므로서 misadjustment에 의해 발생하는 등화 잡음을 해결하기 위하여 adaptive modulus 개념이 등장하였다. MMA는 등화기 출력을 $\pm\sqrt{R_{2R}}$ 와 $\pm\sqrt{R_{2I}}$ 의 점에 위치하도록 탭 계수를 갱신하게 된다. adaptive modulus는 등화기 출력의 실수부와 허수부는 그림 3과 같이 해당 실수부와 허수부에 유사한 maximum likelihood 원칙을 적용하고 있다.

그림 (a) 에서 zone 1과 zone 2에 속하는 z_{R-1}, z_{R-2} 은 신호점의 실수축에 대한 점이며, 그림 (b)에서 zone 1

과 zone 2에 속하는 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 되며 16-QAM 신호에서 이를 적용한 adaptive modulus는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{If } z_{Rk} \in Z_{R-1} & \text{ then } R_{ReMMA}^2 = \pm 0.3153 \quad (3) \\ \text{If } z_{Rk} \in Z_{R-2} & \text{ then } R_{ReMMA}^2 = \pm 0.946 \\ \text{If } z_{Ik} \in Z_{I-1} & \text{ then } R_{ImMMA}^2 = \pm 0.3153 \\ \text{If } z_{Ik} \in Z_{I-2} & \text{ then } R_{ImMMA}^2 = \pm 0.946 \end{aligned}$$

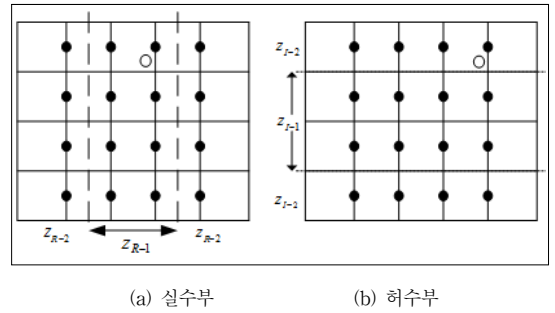


그림 3. 16-QAM에서 실수와 허수의 Likelihood zone
 Fig. 3. Likelihood zone of real & imaginary of 16-QAM

나. Adaptive Step Size

Adaptive Step Size는 적응 등화 알고리즘이 수렴한 후에도 만약 강한 채널의 간섭이 존재하다면 인위적으로 오차 신호는 커질 수 있으므로 이를 막기 위하여 오차 신호를 적절한 변환 과정을 거쳐 비선형 함수를 이용한 step size 제어에 사용하는 것을 목적으로 하며, MMA의 SER 성능 열화를 방지할 수 있게 된다. 제안 방식인 H-MMA 알고리즘에서 고정 step size μ 는 다음과 같이 비선형 함수인 지수 함수를 이용하여 변환되어진다.

$$\mu_k = \beta [1 - \exp(-\alpha \overline{e_k}^2)] \quad (4)$$

$$\overline{e_k} = z_{kr} (|z_{kr}|^2 - R_{ReMMA}^2) + j z_{ki} (|z_{ki}|^2 - R_{ImMMA}^2)$$

여기서 β 는 proportionality factor이며 가변 step size μ_k 값의 범위를 결정하며, α 는 오차항에 대한 step size의 변화 속도를 제어하는데 사용된다. $0 \leq 1 - \exp(-\alpha \overline{e_k}^2) \leq 1$ 의 범위 내에서 μ_k 값은 $0 \leq \mu_k \leq \beta$ 의 값을 갖게 되며, 알고리즘의 안정된 동작을 보장하기 위하여 step size는 다음의 조건을 만족시키야 한다.

$$0 \leq \mu_k \leq 0.66 \text{ tr}(R_k) \quad (5)$$

R_k 는 등화기 입력 신호 r_k 의 자동 상관 행렬을 나타낸다. 초기 상태에서 step size는 크게 설정하여 수렴 속도가 빠르지만, 안정 상태에서는 이를 적게하여 수렴 속도보다는 수렴 정확도를 보장토록 하며 오차 신호 e_k 에 따라 step size μ_k 는 단조 감소한다.

4. H-MMA Algorithm

H-MMA는 기존의 MMA 알고리즘에 식(3)과 식(4)에서 정의된 adaptive modulus와 adaptive step size 개념을 적용한 알고리즘을 말한다. H-MMA 알고리즘은 식(1)과 식(2)의 MMA 비용 함수와 오차 신호 및 탭 갱신식을 그대로 적용할 수 있으며 다음과 같다.

$$J = E[(|z_{kr}|^2 - R_{ReMMA}^2)^2 + (|z_{ki}|^2 - R_{ImMMA}^2)^2] \quad (6)$$

$$R_{ReMMA}^2 = \frac{E(|s_{kr}^4|)}{E(|s_{kr}^2|)^2}, \quad R_{ImMMA}^2 = \frac{E(|s_{ki}^4|)}{E(|s_{ki}^2|)^2}$$

$$e_{kH-MMA} = z_{kr}(|z_{kr}|^2 - R_{ReMMA}^2) + jz_{ki}(|z_{ki}|^2 - R_{ImMMA}^2)$$

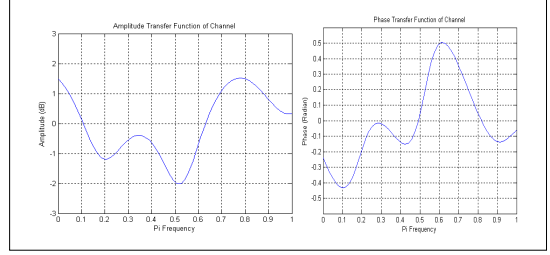
$$f_{k+1} = f_k - \mu_k e_{kH-MMA} R_k^*$$

III. 컴퓨터 시뮬레이션 및 결과

기존 MMA 와 H-MMA 알고리즘의 성능 비교를 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션을 위한 파라미터로는 신호대 잡음비를 30dB, 적응 스텝의 크기를 모두 $\mu = \beta = 0.0015$, adaptive step size의 변화 속도를 제어하는 $\alpha = 2.5$, 등화 필터로는 안정성이 보장되는 15차 FIR 필터를 적용하였다. 그림 4는 부호간 간섭을 발생시키는 통신 채널의 진폭 전달 함수와 위상 전달 함수를 나타낸 것이며, 진폭 전달 함수는 주파수에 따라 통과량이 변동하는 찌그러짐이 3.5dB 범위에서 변화함을 알 수 있으며, 위상 전달 함수는 주파수에 따라 위상의 기울기가 불규칙적으로 변동하는 비선형 특성을 가지고 있으므로 위상 찌그러짐이 발생하고 있다. 이와같이 진폭과 위상 찌그러짐에 의한 부호간 간섭들이 시뮬레이션에 사용된 채널 모델에서 발생된다.

제안 알고리즘의 성능 비교를 위하여 가장 직관적인 방법으로 각 적응 등화기의 출력 신호 성상도를 그림 5에 나타내었다. 출력 성상도에서는 신호점의 크기와 폭이 좁고 신호점간의 간격이 클수록 등화 성능이 우월하게 된다. 그림에서 H-MMA의 성상도들이 MMA보다 신호점의 폭이 좁으며, 신호점간의 간격이 크므로 결정 장치

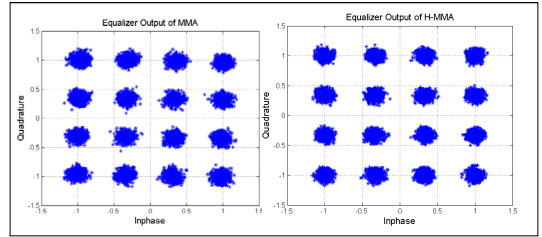
에서 “1”과 “0”를 판별할 때 오류 발생 가능성이 저하되므로 안정적인 성능의 우월함을 알 수 있다.



(a) 진폭 전달 함수 (b) 위상 전달 함수

그림 4. 채널의 전달 함수

Fig. 4. Transfer function of channel



(a) MMA (b) H-MMA

그림 5. 등화기 출력 신호 성상도

Fig. 5. Output signal constellation of equalizer

두 번째 등화 알고리즘의 성능 비교를 위한 지수로 수렴 속도 (convergence speed)와 정상 상태 이후의 잔류량의 정보를 알 수 있는 잔류 isi와 MD 및 MSE learning 곡선이 사용된다. 특히 수렴 속도는 적응 등화기가 정상적으로 동작 중에 채널 상태의 급변 또는 순간적으로 절단되는 경우 이로부터 신속하게 복원하여 적응하기 위한 소요 시간을 나타내며 다음과 같이 정의하였다.

$$\text{잔류 isi} = 10 \log_{10} \left[\frac{\sum_i |h(k)*f(k)|^2 - |h(k)*f(k)|_{\max}^2}{|h(k)*f(k)|_{\max}^2} \right] \quad (7)$$

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

$$\text{MSE} = 10 \log_{10} [s(k) - \hat{s}(k)]^2$$

먼저 잔류 isi는 통신 채널과 적응 등화기가 완전 등화 상태에서는 이들의 종합 특성으로 주파수 영역에서는 모든 주파수에 걸쳐 평탄하며, 시간 영역에서는 임펄스 특성을 가져야 한다. 이는 이론적인 관계이며 실제적으로는 완전 임펄스 특성을 갖지 못하고 잔류 성분들이 존재

하게 되므로 이 잔여 성분들의 전력 크기를 의미한다. 그림 6은 이들 두가지 알고리즘의 잔류 isi 성능을 나타낸 것으로서 -20dB의 정상 상태에 도달하는데 MMA는 1966회, H-MMA는 2596회에 달성하므로, 수렴 속도에서는 MMA가 H-MMA보다 약 1.3배 빠르지만, 수렴후의 양에서도 H-MMA가 훨씬 적으며, 잔류양들의 변화도 MMA보다 H-MMA가 적게 되어 misadjustment에 의한 등화 잡음이 감소됨을 확인할 수 있다. 잔여 isi 성분들의 크기를 전압으로 나타내는 MD 성능을 그림 7에 나타내었다. 여기에서도 수렴 속도는 MMA가 H-MMA보다 약 1.02배 빠르지만, 잔여량에서는 H-MMA가 MMA보다 개선된다.

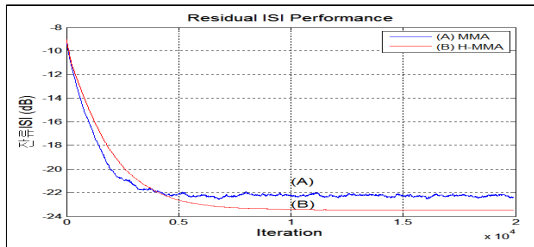


그림 6. 잔류 isi 성능
 Fig. 6. Residual isi performance

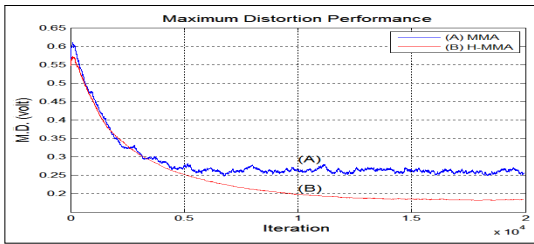


그림 7. MD 성능
 Fig. 7. MD performance

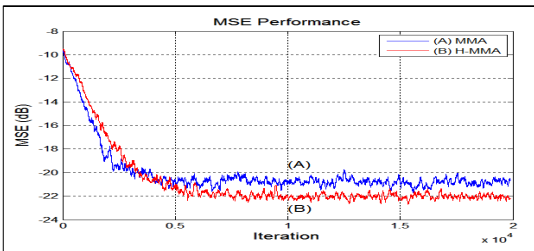


그림 8. MSE 성능
 Fig. 8. MSE performance

그림 8은 송신 신호와 수신 복원 신호간의 MSE 성능을 나타낸 것이다. 여기서도 -20dB를 정상 상태로 고려할 때 MMA는 3001회, H-MMA는 3251회가 필요케되어 MSE 성능에서도 MMA가 H-MMA보다 1.08배 빠르지만, 수렴후의 양에서는 H-MMA가 적어 jitter가 감소됨을 알 수 있다.

마지막으로 통신 채널에서 부가되는 잡음에 대한 강인성을 알아보기 위하여 신호대 잡음비를 0에서 35dB까지 5dB 단위로 변화시킬때의 SER (Symbol Error Rate) 성능을 그림 9에 나타내었다. SNR이 적은 구간에서는 이들은 유사한 성능이지만 15dB이상에서는 H-MMA가 기존 MMA보다 SER 성능이 우월해짐을 알 수 있으며 심볼 오류율 10^{-2} 에서 1.5dB의 등화 이득 (equalization gain)을 얻을 수 있다.

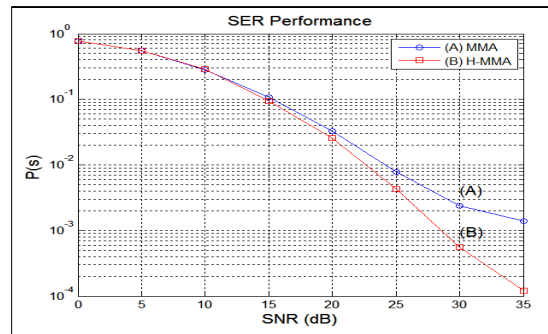


그림 9. SER 성능
 Fig. 9. SER performance

V. 결 론

논문에서는 MMA와 H-MMA 블라인드 적응 등화 알고리즘의 성능을 비교하였다. 기존의 MMA 알고리즘이 진폭과 위상의 동시 등화가 가능하지만 misadjustment에 의한 등화 잡음이 수반되는 단점을 가지므로, H-MMA 알고리즘에서는 이의 개선을 위하여 adaptive step size와 adaptive modulus를 결합시켰다. 이의 개선된 적응 등화 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 성능 분석 결과 정상 상태에 도달하기 위한 시간에서는 H-MMA가 MMA보다 잔류 지수에서는 1.3배, MD에서는 1.02배, MSE에서는 1.08배 정도의 느려짐을 알 수 있었지만, 정상 상태 이후의 양에서는 모든 지수에서

훨씬 적은 우월한 성능을 가지며 등화 잡음을 상당히 경감함을 알 수 있었다. 마지막 성능 지수로서 채널에서 부가되는 잡음에 의한 알고리즘의 robustness를 확인하기 위한 SER 성능에서는 신호대 잡음비가 적은 경우 이들은 유사한 오류율을 얻을 수 있지만, 신호대 잡음비가 10dB 이상에서는 H-MMA가 기존 MMA보다 훨씬 우월한 오류율을 얻을 수 있었다. 적응 등화 알고리즘에 대한 내부 성능과 외부 성능에서 H-MMA가 MMA보다 우월하지만 수렴 속도가 느려지는 문제점이 있으므로, 이를 더욱 경감시키기 위한 지속적인 연구가 향후 필요하다.

References

- [1] W. Rao, "Amplitude Transformation-Based Blind Equalization Part 2 : Suitable for High-Order QAM Signal", *Procedia Environmental Sciences* 10, pp. 1282~1286, 2011.
- [2] Treichler J.R., "A new approach to multipath correction of constant modulus signals", *IEEE Trans. on ASSP.*, Vol.31, pp.459~471, 1983.
DOI: <https://doi.org/10.1109/TASSP.1983.1164062>
- [3] J.Yang, J.J.Werner and G.A.Dumont, "The multi-modulus blind equalization and Its Generalized algorithm", *IEEE Jour. on Selected Areas in Comm.*, Vol.20, No. 3, pp.997~1015, June 2002.
- [4] Y.Gao, X.Qiu, "A new variable step size CMA blind equalization algorithm", *24th Chinese Control & Decision Conf.*, pp.315~317, 2012.
- [5] Z.Liyi, C.Lei, S.Yunshan, "Variable Step-size CMA Blind Equalization based on Non-linear Function of Error Signal", *Int. Conf. on Communication & Mobile Computing*, pp.396~399, 2009.
- [6] W. Rao, G. Y. Cai, "New constant modulus blind equalization algorithm based on variable segment error function", *Jour. of System Simulation*, Vol. 9, No. 12, pp.2686~2689, 2006.
- [7] Raffaele Parisi, "Fast Adaptive Digital Equalization by Recurrent Neural Networks", *IEEE Trans. on Signal Processing*, Vol.45, pp.2731~2738, 1997.
- [8] W. Rao, Y.G.Han, Y.C.Guo, "A new family of

combination blind equalization with a new constant modulus algorithm based on variable slope error function", *Int. Conf. on S.P.*, pp.16~20, 2006.

- [9] S.A.Athuraliya, L.M.Garth, "Quantized CMA equalization for shaped signal constellations", *IEEE Signal Processing Lett.* pp.67~70, 2004.

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>