

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2019.19.5.107>
JIIBC 2019-5-15

Adaptive Modulus와 Adaptive Stepsize를 이용한 CR-MMA 적응 등화 알고리즘의 성능 개선

A Performance Improvement of CR-MMA Adaptive Equalization Algorithm using Adaptive Modulus and Adaptive Stepsize

임승각*

Seung-Gag Lim*

요약 본 논문에서는 CR-MMA (Constellation Reduction-Multi Modulus Algorithm) 등화 알고리즘에 adaptive modulus와 adaptive stepsize를 적용함으로써 등화 성능을 개선할 수 있는 Hybrid-CRMMA 알고리즘을 제안한다. CR-MMA 알고리즘은 16-QAM과 같은 nonconstant modulus 신호를 constant modulus 신호로 reduction한 후, 송신 신호의 통계치인 고정 modulus를 이용하여 오차 신호를 발생하므로 기존 MMA의 적응 등화 성능을 개선시키기 위하여 등장하였다. 제안 방식인 Hybrid-CRMMA는 CR-MMA의 constellation reduction 개념에 등화기 출력 신호의 전력에 비례도록 adaptive modulus와 오차 신호의 비선형성을 이용하여 adaptive stepsize를 적용하였으며, 이의 개선된 등화 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 확인한다. 이를 위한 성능 지수로는 등화기 출력 신호 성장도, 수렴 특성을 나타내는 잔류 isi, 최대 찌그러짐, MSE 및 알고리즘의 외부 잡음에 대한 강인성을 나타내는 SER을 사용하였다. 컴퓨터 시뮬레이션 결과 제안 Hybrid-CRMMA가 기존 CR-MMA보다 모든 성능 지수에서 우월함을 확인하였다.

Abstract This paper proposes the Hybrid-CRMMA adaptive equalization algorithm that is possible to improve the performance of CR-MMA based on adaptive modulus and adaptive stepsize. The 16-QAM nonconstant modulus signal is reduced to 4-QAM constant modulus signal, and the error signal were obtained based on the fixed statistic modulus of transmitted signal. It is possible to improving the currently MMA adaptive equalization performance. The proposed Hybrid-CRMMA composed of adaptive modulus which is propotional to the power of equalizer output and adaptive stepsize which is function of the nonlinearities of error signal, and its improved equalization performance were confirmed by computer simulation. For this purpose, the output signal constellation, the residual isi and maximum distortion and MSE that is for the convergence characteristics, the SER that is meaning the robustness of external noise of algorithm were used. As a result of computer simulation, it was confirmed that the proposed Hybrid-CRMMA has more superior performance in every index compared to currently CR-MMA.

Key Words : CR-MMA, Hybrid-CRMMA, adaptive modulus, adaptive stepsize, residual isi

*정회원, 공주대학교 정보통신공학부 정보통신공학 전공
접수일자 2019년 7월 30일, 수정완료 2019년 9월 13일
게재확정일자 2019년 10월 4일

Received: 30 July, 2019 / Revised: 13 September, 2019 /
Accepted: 4 October, 2019

*Corresponding Author: sglim@kongju.ac.kr

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

I. 서 론

최근의 정보 통신 서비스는 음성급 데이터의 전송만을 지원하는 유선 전화 지향 서비스에서 동영상과 같은 광대역 멀티미디어 콘텐츠와 같은 이동/무선 지향 멀티미디어 서비스로의 변화가 이루어지고 있으며, 이를 지원하기 위하여 다양한 기술적 발전이 이루어지고 있다. 이의 사례로 실시간 정보의 압축과 복원을 위한 코덱 기술 및 고효율 전송 기술등을 들 수 있다. 이동/무선망에서는 다중 경로 페이딩과 대역 제한 특성과 음영 지역에 의한 신호 찌그러짐으로 인해 전체적인 전송 latency 및 무선 단말과 장치를 통해 수신되는 멀티미디어 데이터의 성능 열화이다. 이는 이동/무선 채널의 시변 특성과 전파 전파 환경이라는 고유한 특성에 기인하며, 멀티미디어 데이터를 전송할 때 시스템에서 사용 가능한 대역폭과 통신 단말의 처리 능력은 심하게 제약을 받는다^[2]. 이동/무선 통신망에서 전송 효율을 떨어뜨리는 주된 원인으로는 채널에서 발생하는 부호간 간섭과 잡음이며, 이들의 영향을 최소화시키기 위하여 등화 기술은 필수적이어서 고효율 전송 기술을 위한 시스템의 설계자들에게는 높은 관심을 받고 있다. 채널 등화를 위해서는 채널의 전달 함수를 추정하는 기술과 추정된 함수의 역함수를 구하는 2가지 과정이 필요하며, 전달 함수의 추정을 위해서는 학습열을 사용하여야 한다. 그러나 학습열에 의한 대역폭 낭비와 이의 사용이 부적합한 통신 환경에서, 이에 의존하지 않는 블라인드 적응 등화 방식이 최근 많은 관심을 받고 있다. 블라인드 방식에서는 송신 신호의 constant modulus에 의존하며 정상 상태에 도달하기 위한 수렴 시간과 채널 추적 능력과 정상 상태 이후 부호간 간섭 잔여량이 학습열 방식보다 증가되는 등화 성능이 저하된다. 최근에는 이를 개선하기 위한 블라인드 적응 등화에 대한 연구가 진행되고 있으며 CMA (Constant Modulus Algorithm)와 MMA가 있다^{[1][2]}. CMA는 비교적 간단한 연산량으로 실시간 응용이 가능하며 수신 신호의 진폭만 보상하지만, 위상 보상이 불가능하므로 외부에 PLL과 같은 위상 보정 장치의 부가가 필요하지만, 반면 MMA는 진폭과 위상의 동시 보상을 할 수 있는 능력을 갖지만 CMA보다 등화 성능이 열화되는 문제점이 있다. 이와 같은 MMA의 장점을 살리면서 문제점을 해결키 위한 다양한 방식이 등장하였으며 CR-MMA (Constellation Reduction-MMA)가 있다^{[3][4][8]}. CR-MMA는 적응을 위한 등화기 탭 계수 갱신을 위한 오차 신호를 발생할 때 고 대역 효율을 갖는 고차의 nonconstant modulus QAM 신호를 constant

modulus의 4-QAM 신호로 축소 및 고정된 송신 신호의 dispersion constant와 stepsize를 이용하는 원리를 이용하여 기존 MMA의 등화 성능을 개선한다^{[6][7]}. 논문에서 제안하는 Hybrid-CRMMA는 송신 신호의 constellation과 등화기 출력간의 likelihood값을 이용한 adaptive modulus와 탭 계수 갱신을 위한 오차 신호의 비선형성을 이용한 adaptive stepsize를 동시에 적용하며, 이의 개선된 등화 능력을 시뮬레이션으로 확인한다. 2 장에서는 적응 등화기를 적용한 통신 시스템 모델을 설명한 후 3 장에서는 CR-MMA 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 신호를 적용한 통신 시스템의 송수신부를 나타내는 모델을 나타낸 것이며, 그림에서 송수신 필터와 스펙트럼 이동을 나타내는 변조와 복조 과정은 생략하였다. 송신측에서 16-QAM과 같은 nonconstant modulus를 갖는 복소 형태의 신호 s_k 를 송신하면 대역 제한과 부호간 간섭을 발생하는 임펄스 응답이 h_k 인 채널을 통과하면서 잡음 n_k 가 부가되어 수신된다.

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

식 (1)에서 *는 convolution을 나타내며, 수신된 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 적응 등화기의 응답 f_k 와 채널의 임펄스 응답 h_k 간에는 다음의 관계가 성립되어야 하며, 이때 지연 시간은 무시한다.

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

식 (3)을 위해서 등화기 응답 f_k 는 채널의 응답 h_k 의 역함수 관계가 되어야 한다. 적응 등화기 응답 f_k 를 얻기 위한 적응 알고리즘부는 송신 신호 s_k 의 통계치인 고정 modulus와 고정 stepsize를 이용한다.

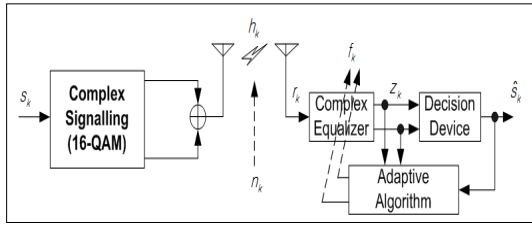


그림 1. 통신 시스템 모델
 Fig. 1. Communication system model

2. CR-MMA 알고리즘

그림 1의 시스템 모델에서 적응 알고리즘부에서 MMA가 사용되는 경우 등화 필터 계수 f_k 에 대한 다음과 같이 정의되는 비용 함수 J 를 최소화시키도록 LMS (Least Mean Square)를 적용한다. 비용 함수에 따라 다양한 적응 등화 알고리즘이 정의되며 기존 MMA에서는 다음과 같다.

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

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

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 나타내고 R_{MMA} 는 constant modulus이다. MMA 알고리즘에서 오차 신호와 탭 계수 갱신식은 다음과 같다.

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

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

μ 는 고정된 적응 스텝의 크기를 나타내며, 정상 상태에 도달하기 위한 수렴 속도를 결정한다. CR-MMA에서 constellation reduction은 16개의 nonconstant modulus QAM 신호점들을 $\pm 1 \pm j$ 의 4개 constant modulus 신호점으로 축소하는 개념을 말한다. constellation reduction에서는 modulus R_{CR-MMA} 를 1로 줄여서 모든 신호점은 적은 반경의 단위원에서 4-QAM의 통계적 특성을 이용하는 등화를 수행하므로 오차 함수의 크기를 줄일 수 있게 되므로 등화 성능이 개선되며, 특히 고차 QAM 신호에 대해서도 이의 효과가 증대되어 nonreduction 방식에 비해 우수한 성능을 얻을 수 있다. 송신 신호가 16-QAM인 경우 등화기의 출력을 Z_k 라면 4-QAM으로의 reduction을 위해서는 다음의 식을 적용한다.

$$\widehat{Z}_{Rk} = Z_{Rk} - 2 \text{sign}(Z_{Rk}), \quad \widehat{Z}_{Ik} = Z_{Ik} - 2 \text{sign}(Z_{Ik}) \quad (6)$$

여기서 Z_{Rk} , Z_{Ik} 는 Z_k 의 실수와 허수부를 나타낸다. 이들을 이용하면 CR-MMA의 비용 함수와 오차 신호 및 필터 계수의 갱신식은 다음과 같이 된다.

$$J = E\left\{(|\widehat{z}_{kr}|^2 - R_{CR-MMA})^2 + (|\widehat{z}_{ki}|^2 - R_{CR-MMA})^2\right\} \quad (7)$$

$$\overline{e_{CR-MMA}} = \widehat{z}_{kr}(|\widehat{z}_{kr}|^2 - R_{CR-MMA}) + j \widehat{z}_{ki}(|\widehat{z}_{ki}|^2 - R_{CR-MMA})$$

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

그림 2는 CR-MMA 등화기의 내부 구성도를 나타낸 것이다. 수신되는 데이터 벡터를 저장하는 버퍼를 내부에 두고 등화기의 출력 z_k 를 식(6)을 적용하여 constellation reduction시킨 후 modulus를 이용하여 오차 신호를 발생시킨 후 step 크기를 곱하며, 이때 수신 데이터 벡터를 공액시켜 이들을 상호 곱한 후 이전 등화기 계수 f_k 에서 변동량을 제거한 후 새로운 등화기 계수 f_{k+1} 를 얻는다.

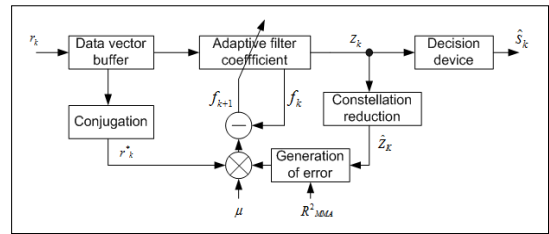


그림 2. CR-MMA의 내부 구조
 Fig. 2. Internal structure of CR-MMA

3. Adaptive Modulus 개념

MMA에서 오차 신호 발생을 위하여 고정된 constant modulus R_{MMA} 를 이용하는 대신 CR-MMA에서는 등화 성능 개선을 위해 adaptive modulus 개념을 적용한다.

adaptive modulus는 송신 신호의 실수와 허수부를 등화기 출력의 실수와 허수부를 상호 비교하여 가장 유사한 maximum likelihood 원칙을 적용한 adaptive modulus값을 이용한 오차 신호를 발생한다. 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 ○의 등화 출력을 얻었다면, 실수축에 대해서는 zone 1에 속하며, 허수축에 대해서는 zone 2에 속하게 되어 modulus를 적응적으로 변화시키게 된다. 16-QAM 신호에서 이와 같은 개념을 적용한 adaptive

varying modulus는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 &\text{If } z_{Rk} \in Z_{R-1} \text{ then } R_{\text{Hy-CRMMA}_{\text{Real}}} = \pm 0.3 \\
 &\text{If } z_{Rk} \in Z_{R-2} \text{ then } R_{\text{Hy-CRMMA}_{\text{Real}}} = \pm 1 \\
 &\text{If } z_{Ik} \in Z_{I-1} \text{ then } R_{\text{Hy-CRMMA}_{\text{imag}}} = \pm 0.3 \\
 &\text{If } z_{Ik} \in Z_{I-2} \text{ then } R_{\text{Hy-CRMMA}_{\text{imag}}} = \pm 1
 \end{aligned} \tag{8}$$

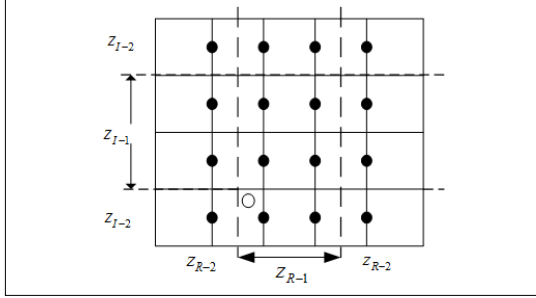


그림 3. 16-QAM에서 Likelihood zone
Fig. 3. Likelihood zone of 16-QAM

4. Adaptive stepsize 개념

적응 등화기의 탭 계수 갱신을 위한 stepsize에서 이의 큰 값은 정상 상태에 도달하기 위한 수렴 속도는 빠르지만, 정상 상태 이후부터의 잔여량이 크게 된다. 반면 이를 적게 하면 수렴 속도는 느리지만, 정상 상태 이후부터의 잔여량을 적게 된다. 이와 같은 상반된 조건하에서 이들의 2가지를 동시에 만족시킬 수 있는 방안으로 adaptive step size가 등장하였으며, 정상 상태에 도달하기 위해서는 큰 stepsize로 적응을 시작하며, 정상 상태에 도달한 후에는 이의 값을 적게 하면서 또한 강한 채널의 간섭이 존재한다면 인위적으로 오차 신호는 커지므로 이를 방지하기 위하여 오차 신호의 비선형 변환 과정을 거쳐 변화시킨다. Hybrid-CRMMA에서 adaptive stepsize μ_k 는 다음과 같이 비선형 함수인 지수 함수를 이용하여 변환한다.

$$\mu_k = \beta[1 - \exp(-\alpha|e_k|)] \tag{9}$$

여기서 β 는 proportionality factor이며 adaptive step size μ_k 의 최대값을 의미하며, α 는 스텝 크기의 변화하는 속도를 제어한다. adaptive modulus와 adaptive stepsize 개념을 조합한 제안 Hybrid-CRMMA 알고리즘에서 오차 신호와 탭 계수 갱신식은 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned}
 e_{k \text{ Hy-CRMMA}} = & z_{(k)r} (|z_{(k)r}|^2 - \text{Var}[R_{\text{Hy-CRMMA}_{\text{Real}}}]) + \\
 & j z_{(k)i} (|z_{(k)i}|^2 - \text{Var}[R_{\text{Hy-CRMMA}_{\text{imag}}}])
 \end{aligned} \tag{10}$$

$$\hat{f}_{k+1} = f_k - \mu_k e_{k \text{ Hy-CRMMA}} r_k^*$$

III. 컴퓨터 시뮬레이션

adaptive modulus와 adaptive stepsize를 적용하는 Hybrid-CRMMA 적응 등화 알고리즘의 성능을 기존 CR-MMA와 비교, 분석하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션을 위하여 신호대 잡음비를 30dB, CR-MMA의 스텝 크기 $\mu = 0.00045$, Hybrid-CRMMA의 stepsize의 최대값 $\beta = 0.00045$, $\alpha = 4.5$ 이며, 등화기 차수는 15차 FIR로 설정하였고, 송신 신호로는 스펙트럼 효율이 높은 16-QAM nonconstant modulus를 이용하였다. 송신 신호는 부호간 간섭을 발생시키는 그림 4의 복소 채널을 통과한 후 원하는 신호대 잡음비를 갖는 잡음 n_k 를 추가하여 수신 신호 r_k 을 얻었다.

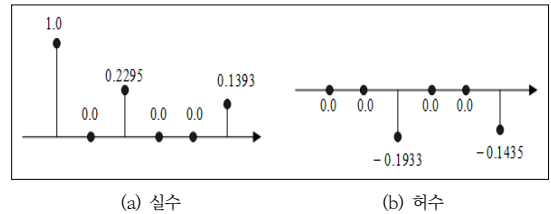


그림 4. 채널의 계수
Fig. 4. Coefficient of channel

그림 5는 전체적인 시뮬레이션을 위한 신호 처리 과정을 나타내었다. 수신 신호 r_k 를 발생시킨 후 적응 등화를 위한 초기화한 후 식 (6)과 (7)을 적용한 CR-MMA 알고리즘과 식 (8), (9), (10)을 적용한 Hybrid-CRMMA 알고리즘을 수행한 후 이들의 성능을 등화기 출력 정상도, 잔류 isi, 최대 찌그러짐과 MSE, SER등의 지수를 정성적, 정량적으로 비교하였다.

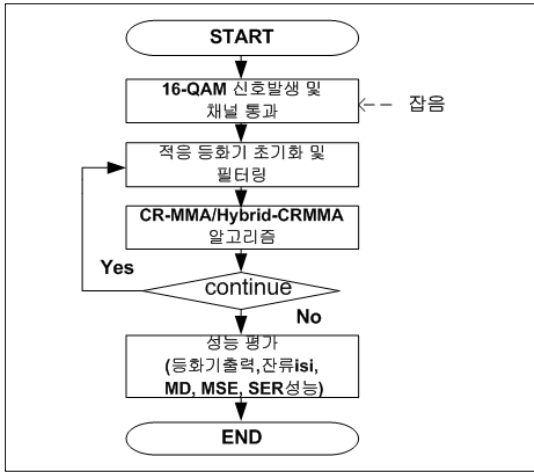


그림 5. 전체 신호 처리도
 Fig. 5. Overall signal processing flowgram

그림 6은 정상 상태에서 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. CR-MMA는 $d=0.65$, $w=0.375$ 정도이며, Hybrid-CRMMA는 $d=0.672$, $w=0.278$ 정도가 되어 Hybrid-CRMMA가 기존 CR-MMA보다 적응 등화 능력이 우월함을 알 수 있다.

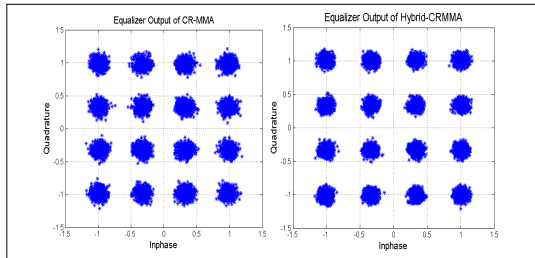


그림 6. 등화기 출력 신호 정상도
 Fig. 6. Equalizer Output signal constellation

적응 등화기의 성능을 나타내는 내부 지수로 잔류 isi (residual isi), 최대 찌그러짐 (maximum distortion) 과 MSE를 사용하였다. 이들의 3 가지 지수는 정해진 정상 상태까지 도달하는데 (채널 추적 능력) 소요되는 수렴 속도와 정상 상태 이후부터의 잔류량을 알 수 있으며, 이들은 적응 등화기의 중요한 성능 지표이다. 잔류 isi는 통신 채널 h_k 와 등화 필터 계수 f_k 의 종합 특성은 정상 상태에서는 이론적으로는 임펄스 신호가 된다. 그러나 완전

임펄스는 불가능케 되어 이와 근사한 성능이 얻어지는데 최대 성분을 제외한 나머지 잔류 성분들의 전력 크기를 나타낸다. 또한 최대 찌그러짐은 잔류 성분들의 전압 크기를 나타낸다. 또한 MSE는 결정 장치의 출력과 송신 신호와의 자승 차이를 나타내면 송신 신호점을 중심으로 진폭의 흔들림 또는 jitter 크기를 나타낸다. 그림 7의 잔류 isi에서 -20dB의 정상 상태에 도달하는 수렴 속도에서는 CR-MMA는 408회, Hybrid-CRMMA는 512회가 소요되었으며, 정상 상태 이후의 잔류 성분에서는 제안 Hybrid-CRMMA가 CR-MMA보다 약 -1dB 정도 적으며, 등화 잡음이 감소됨을 알 수 있다. 그림 8은 최대 찌그러짐 성능을 나타낸 것이며, 0.35의 정상 상태에 도달하기 위한 수렴 속도에서 CR-MMA는 464회, Hybrid-CRMMA는 572회가 소요되었으며, 정상 상태 이후의 잔류 성분에서는 제안 Hybrid-CRMMA가 CR-MMA보다 약 0.5 정도 적어짐을 알 수 있다. 그림 9는 MSE 성능을 나타낸 것으로 -11dB의 정상 상태에 도달하기 위한 수렴 속도에서 CR-MMA는 460회, Hybrid-CRMMA는 627회가 소요되었으며, 정상 상태 이후의 흔들림에서 Hybrid-CRMMA는 CR-MMA보다 약 -1dB 개선됨을 알 수 있다.

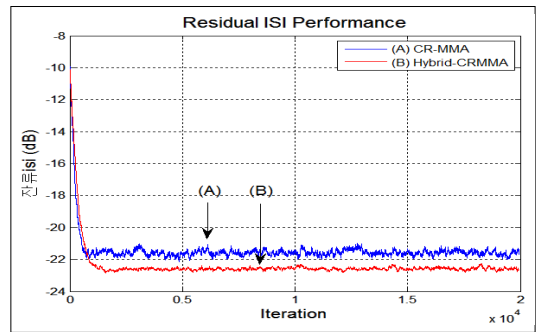


그림 7. 잔류 isi 성능
 Fig. 7. Residual isi performance

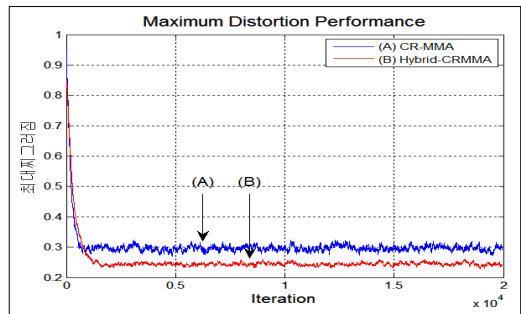


그림 8. 최대 찌그러짐 성능
 Fig. 8. Maximum distortion performance

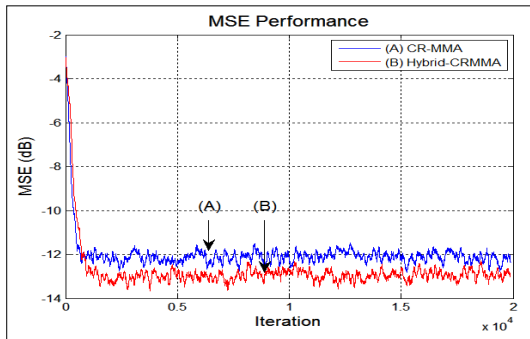


그림 9. MSE 성능
Fig. 9. MSE performance

표 1은 그림 7, 8, 9에서 제시된 정성적인 성능 지수에 대한 정량적인 평균과 분산값을 나타낸 것이다. 모든 지수에서 제안 Hybrid-CRMMA가 CR-MMA보다 개선되며, 정상 상태에서 탭 계수 갱신에 의해 발생하는 등화 잡음이 감소됨을 알 수 있다.

표 1. 성능 지수의 통계값
Table 1. Statistics of performance index

		평균	분산
잔류ISI	CR-MMA	0.0070	9.54e-8
	Hybrid-CRMMA	0.0056	1.19e-7
최대찌그러짐	CR-MMA	0.2965	7.55e-5
	Hybrid-CRMMA	0.2457	1.10e-4
MSE	CR-MMA	0.0615	1.03e-5
	Hybrid-CRMMA	0.0509	9.46e-6

그림 10은 Hybrid-CRMMA 적응 등화 알고리즘의 외부 부가 잡음에 대한 강인성을 나타내는 SER 성능을 기존 CR-MMA와 비교하여 나타낸 것이다. 신호대 잡음비는 0~15dB 까지 3dB 단위로 변화시키면서 20,000개의 16-QAM 신호에 대하여 6회 반복 전송한 결과이다. 전체적으로 신호대 잡음비가 3dB 이상에서는 제안 방식인 Hybrid-CRMMA가 CR-MMA보다 강인함을 알 수 있으며 12dB 이상에서는 훨씬 우월한 성능을 얻을 수 있었다. 이는 원래의 MMA 알고리즘보다 CR-MMA 알고리즘이 양호한 SER 성능을 얻을 수 있다는 점을 고려할 때 Hybrid-CRMMA 알고리즘은 SER 성능이 MMA 또는 CR-MMA 보다 매우 개선됨을 의미한다. 이는 adaptive modulus와 adaptive stepsize 개념을 적용하기 위해서는 통신 채널에서 신호대 잡음비가 최소한 6dB 이상이 확보 될 때 최대의 강인성을 얻을 수 있음을 의미한다.

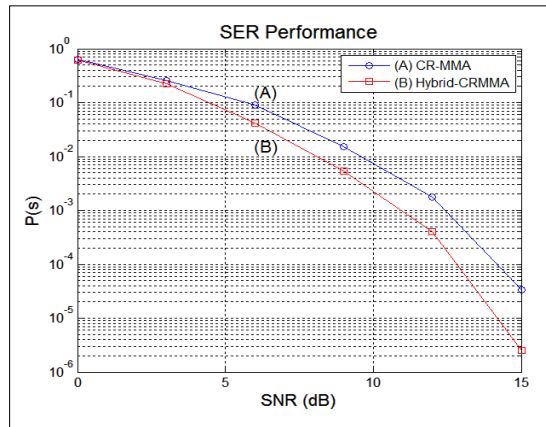


그림 10. SER 성능
Fig. 10. SER Performance

또한 Hybrid-CRMMA 알고리즘과 CR-MMA 알고리즘을 사용하므로써 채널에서 발생하는 군지연 (group delay) 시간의 보상 효과를 그림 11에 나타내었다. 먼저 그림의 (a)에서 채널에서 발생하는 지연 시간의 경우 정규화 주파수 범위내에서 +1과 -2초의 범위내에서 주파수 별로 일정하지 않아서 신호의 위상 찌그러짐의 원인이 되고 있다. 채널과 적응 등화기를 직렬 연결시킬 때 CR-MMA와 Hybrid-CRMMA 알고리즘의 종합 군지연 시간을 그림 (b)에 나타내었다. 그림 (b)에서 CR-MMA의 군지연 시간 평균치는 6.9743, 분산은 0.1467이었으며, Hybrid-CRMMA의 군지연 시간 평균치는 6.9810, 분산은 0.1204를 얻었다. Hybrid-CRMMA는 CR-MMA보다 지연 시간은 미미하게 증대되지만 이의 분산치가 적어지므로 거의 평탄함을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

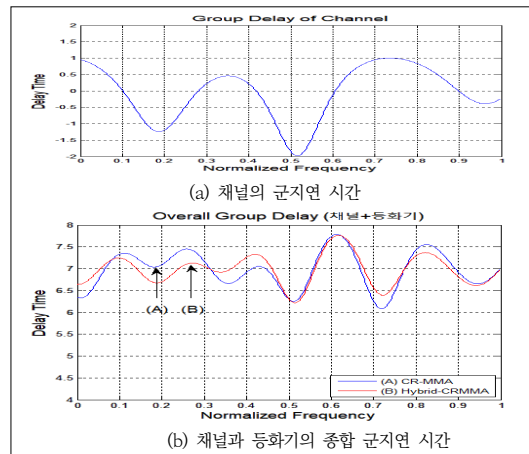


그림 11. 군지연 특성
Fig. 11. Groupdelay Characteristics

V. 결 론

논문에서는 채널에서 발생하는 부호간 간섭을 최소화하기 위한 CR-MMA 적응 등화기에 adaptive modulus와 adaptive stepsize 개념을 적용한 Hybrid-CRMMMA 알고리즘의 성능을 비교, 분석하였다. Hybrid-CRMMMA 알고리즘은 nonconstant modulus 특성을 갖는 고 대역 효율의 16-QAM 신호를 4-QAM의 constant modulus 신호로 변환하여 탭 계수 갱신을 위한 오차 신호를 이용하는 CR-MMA 알고리즘에 adaptive modulus와 adaptive stepsize 개념을 적용하였으며, 이의 개선된 적응 등화 성능을 확인키 위하여 등화기 출력 정상도와 잔류 isi, 최대 찌그러짐, MSE 및 SER을 적용하였다. 기존 SMMA와 비교하였다. 시뮬레이션 결과 정상 상태에 도달하기 위한 수렴 속도에서는 Hybrid-CRMMMA는 CR-MMA 보다 1.3배 정도 느려졌지만, 정상 상태 이후의 잔류양에서 잔류 isi와 MSE는 1dB, 최대 찌그러짐은 0.5 정도 개선됨을 확인하였다. 특히 적응 등화 알고리즘의 외부 잡음에 대한 강인성을 나타내는 SER 성능에서는 모든 신호대 잡음비에서 우월함을 알 수 있었다. 즉 Hybrid-CRMMMA 알고리즘은 기존 CR-MMA보다 개선된 등화 성능과 잡음에 대한 강인성이 있음이 확인되어 신호대 잡음비가 열악한 채널 환경에서 고속 데이터 전송 시 발생하는 부호간 간섭을 효과적으로 경감할 수 있음을 알 수 있었다.

References

- [1] Lin He, M.G.Amin, C.R.Jr, R.C.Malkemens, "A Hybrid Adaptive Blind Equalization Algorithm for QAM Signals in Wireless Communications", Vol.52, No.7, pp.2058~2069, July 2004. DOI:10.1109/TSP.2004.828913
- [2] J.Yang, J. J.Weren, G.A.Dumont, "The Multi-modulus Blind Equalization Algorithm", 13th Int. Conf. D.S.P., pp.127~130, 1997. DOI:10.1109/ICDSP.1997.627988
- [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] W. Rao, "Amplitude Transformation-Based Blind Equalization - Part 2 : Suitable for High-Order QAM Signal", Procedia Environmental Science 10,

pp.1282~1286, 2011.

- [5] Lin He, S.A.Kassam, "Convergence Analysis of Blind Equalization Algorithm using Constellation Matching", IEEE Trans. on Com., Vol.56, No.11, pp.1765~1768, Nov. 2008. DOI : 10.1109/tcom.2008.060370
- [6] W. Rao, K.M.Yuan, Y.Guo, C.Yang, "A Simple Constant Modulus Algorithm for Blind Equalization Suitable for 16-QAM Signals", Int. Conf. on Signal Processing, Vol.2, pp.1963~1966, 2008. DOI : 10.1109/ICOSP.2008.4697528
- [7] S.G.Lim, "Performance Improvement of MCMA Equalization Algorithm Using Adaptive Modulus", Jour. of I.W.I.T., Vol. 14, No. 3, pp. 57~62, June 2014.
- [8] S.G.Lim, "Performance Improvement of MMA Adaptive Equalization Algorithm by using the Constellation Reduction in QAM Signal", Jour. of I.W.I.T., Vol.14, No.5, pp.103~109, Oct. 2014.
- [9] 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

저 자 소 개

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

※ "이 논문은 2019년 공주대학교 학술연구지원사업의 연구지원에 의하여 연구되었음",
This work was supported by the research grant of the Kongju National University in 2019