

<http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2016.16.5.91>

IIBC 2016-5-14

2차원 QAM 신호에서 적응 등화를 위한 FC-MMA와 RMMA 알고리즘의 성능 평가

Performance Evaluation of FC-MMA and RMMA Algorithm for Adaptive Equalization in 2-dimensional QAM Signals

임승각*, 강대수**

Seung-Gag Lim*, Dae-Soo Kang**

요약 본 논문에서는 통신 채널에서 발생하는 찌그러짐에 의한 부호간 간섭을 보상하기 위한 FC-MMA (Fast Convergence-Multiple Modulus Algorithm)과 RMMA (Region based Multiple Modulus Algorithm) 등화 알고리즘의 성능을 평가하였다. 적응 등화를 위한 오차 신호를 얻기 위하여 FC-MMA는 신호 심볼의 레벨수를 고려한 수정된 dispersion constant를 이용하지만, RMMA에서는 모든 신호점들이 존재하는 지역을 4개로 분할한 후 이를 기반으로 신호점을 축소한다. 이와 같이 오차 신호를 얻는 상이한 원리를 적용하여 적응 등화기의 탭 계수 갱신을 수행하게 되지만 이들은 각기 다른 등화 성능을 갖게 되므로, 논문에서는 이들의 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 확인한다. 성능 비교를 위한 지수로는 등화기 출력 신호 정상도, 수렴 특성을 나타내는 잔류 isi, 최대 찌그러짐 및 채널의 신호대 잡음비에 따른 SER을 사용하였으며, 시뮬레이션 결과 RMMA는 정상 상태 이후 출력 신호 정상도와 잔류 isi 및 최대 찌그러짐과 SER 성능이 FC-MMA보다 우월하지만, 정상 상태에 도달하기 위한 수렴 속도에서는 FC-MMA가 빠름을 확인하였다.

Abstract This paper evaluates the equalization algorithm of FC-MMA (Fast Convergence-Multi Modulus Algorithm) and RMMA (Region based Multi Modulus Algorithm) for the compensation of intersymbol interference which is due to the distortion of communication channel. In order to obtain the error signal for adaptive equalization, the FC-MMA use the modified dispersion constant considering the number of signal symbol, the RMMA separates the 4 region which every symbol points are located, then reduce the symbol point based on this region into constant modulus symbol point. By applying the different principle in order to get the error signal for the updating the tap coefficient of adaptive equalizer, it has the different equalization performance by these error signal. The computer simulation was performed in order to compare the different equalization performance in this paper. 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, RMMA has more good performance in the residual isi, maximum distortion after in steady state and SER performance than FC-MMA, but not in convergence speed to reach the steady state.

Key Words : FC-MMA, RMMA, residual isi, modified dispersion constant, maximum distortion

*정희원, 공주대학교 정보통신공학부 정보통신공학

**정희원, 공주대학교 정보통신공학부 (교신저자)

접수일자 : 2016년 7월 6일, 수정완료 : 2016년 8월 30일

게재확정일자 : 2016년 10월 7일

Received: 6 July, 2016 / Revised: 30 August, 2016 /

Accepted: 7 October, 2016

**Corresponding Author: dskang@kongju.ac.kr

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

I. 서 론

모든 디지털 통신 시스템에서 전송 신호는 대역 제한과 다중 경로 특성을 갖는 유선과 무선 채널을 통하여 수신측으로 전송된다. 이때 통신 채널의 진폭과 위상 전달 특성을 알고 그 특성이 시간과 장소에 따라 고정된 시변 채널인 경우 송신측과 수신측에 사용되는 나이퀴스트 필터의 파라미터값을 조절하여 최적의 필터를 설계하면 부호간 간섭이 최소가 된다. 그러나 이 특성을 알지 못하거나, 시간과 장소에 따라 변동하는 시변 채널인 경우 이를 추적, 보상하므로써 부호간 간섭을 최소화시키는 적응 등화기 (adaptive equalizer)를 사용하여 전체 시스템의 throughput을 개선시킬 수 있다. 적응 등화를 위해 초기에는 학습열 (training sequence)을 이용하였지만, 이로 인한 전송 효율의 저하와 채널의 유효 대역폭을 최적으로 사용하기 위하여 blind 방식이 등장하였다. blind 방식에서는 수신측에서 디지털 부호를 수신하면서 채널의 역특성을 얻을 수 있는 매우 유용한 방식이지만, 학습열을 사용하는 방식에 비하여 등화 성능이 열화되는 문제점이 있다. 이와 같은 문제점을 개선하기 위하여 MMA, SCA와 같은 다양한 적응 등화 알고리즘이 등장하여 수렴 속도를 개선하거나, 정상 상태 이후의 잔류량의 크기를 줄이는 방향으로 진행되고 있다.^{[1][2]}

본문에서 다루게 되는 FC-MMA와 RMMA 알고리즘은 기본적으로 MMA 계열로서 이와 같은 목적을 위해 사용되고 있다. FC-MMA는 송신 신호 심볼의 레벨수를 고려하여 modified dispersion constant를 적용하며, RMMA는 등화기 출력이 위치하는 region을 기반으로 4-QAM의 constant modulus 신호로 변환하여 등화 성능을 개선할 수 있다. 이와 같은 상이한 원리에 의하여 등화기 탭 계수 갱신을 위한 오차 신호를 발생하며, 이로 인하여 각기 상이한 적응 등화 성능을 얻을 수 있으므로 이들의 등화 성능을 비교하였다. 이를 위한 성능 지수는 알고리즘 내부에서 등화기 출력 신호, 수렴 특성을 나타내는 잔류 isi, 최대 찌그러짐 성능을 사용하며, 알고리즘 외부에서 잡음에 대한 강인성을 알기 위한 SER 성능을 사용하였다. 2 장에서는 적응 등화기를 적용한 통신 시스템의 모델을 설명한 후 3 장에서는 FC-MMA와 RMMA 알고리즘을 다루며, 4 장에서는 시뮬레이션의 결과를 제시한 후 5 장에서는 결론을 내리겠다.

II. 본 론

1. 통신 시스템 모델

그림 1은 2차원 QAM 신호를 적용한 통신 시스템의 송신부와 수신부를 나타내는 통신 시스템 모델을 나타낸 것이다. 송신원에서 발생하는 2진 부호는 constellation mapping 과정을 통해 스펙트럼 효율적인 2차원 QAM s_k 로 변환된다. 이는 대역 제한과 찌그러짐을 발생하는 임펄스 응답이 h_k 인 채널을 통과하면서 가우시안 잡음 n_k 가 부가되어 수신된다. 수신된 신호 r_k 는 응답이 f_k 인 등화기에 입력되어 채널에 의해 발생하는 부호간 간섭이 보상된 출력 z_k 를 얻게 된 후, 이는 결정 장치 (decision device)에서 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 와 결정 장치의 출력 \hat{s}_k 를 이용한 modulus에 의존하는 오차 신호에 의한 적응 알고리즘을 적용하여 매 순간 변화된다. 적응 등화기는 채널 h_k 의 주파수 전달 특성과 임펄스 응답이 f_k 인 등화기의 주파수 전달 특성은 상호 역관계에 되어 이들의 종합 주파수 특성은 평탄하게 되도록 매 순간 등화기의 응답 f_k 를 조절하게 된다.^[3]

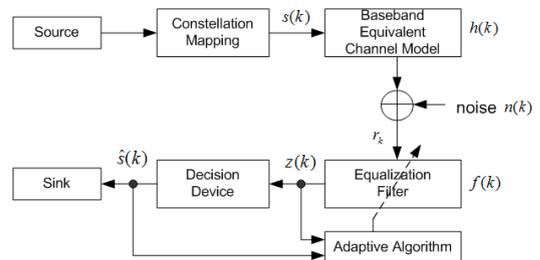


그림 1. 통신 시스템 모델

Fig. 1. Communication system model

2. FC-MMA 알고리즘

FC-MMA 은 오차 함수의 (+)와 (-) 영역을 분할하여 송신 신호 정상도에서 중간 심볼 레벨에 강제로 null을 삽입시킨다. null을 삽입시켜 송신 constellation에서 심볼 레벨의 중간에서 오차를 0으로 만들뿐만 아니라 전체적인 오차 함수를 줄일 수 있게 된다. 이는 기존 MMA 오

차 함수의 실수부와 허수부에 다음과 같이 주어지는 항을 곱하여 얻어진다. [5]

$$(z_{kr}^2 - (m-1)^2)/R_{FC-MMA}^2, (z_{ki}^2 - (m-1)^2)/R_{FC-MMA}^2 \quad (1)$$

여기서 m 은 송신 신호의 심볼 레벨수를 나타내며 16-QAM에서는 2, 64-QAM에서는 4의 상수값이다. 이와 같이 곱해지는 항은 기존 MMA 오차 함수의 대칭 특성을 변화시키지 않는다. FC-MMA의 실수와 허수부의 비용 함수와 오차 함수는 다음과 같이 된다.

$$J_{k,R,FC-MMA} = E \left[\frac{z_{kr}^6}{6R_R} + \frac{(m-1)^2 z_{kr}^2}{2} - \frac{z_{kr}^4}{4} - \frac{(m-1)^2 z_{kr}^4}{4R_R} + H_R \right] \quad (2)$$

$$J_{k,I,FC-MMA} = E \left[\frac{z_{ki}^6}{6R_I} + \frac{(m-1)^2 z_{ki}^2}{2} - \frac{z_{ki}^4}{4} - \frac{(m-1)^2 z_{ki}^4}{4R_I} + H_I \right]$$

$$e_{k,FC-MMA} = \frac{(z_{kr}^2 - (m-1)^2)}{R_R} z_{kr} (z_{kr}^2 - R_R) + j \frac{(z_{ki}^2 - (m-1)^2)}{R_I} z_{ki} (z_{ki}^2 - R_I)$$

여기서 H_R, H_I 는 $J_{k+1,R,I} \geq 0$ 이 되도록 선택되어지는 적분 상수를 말하며 다음의 식 (3)와 같이 된다.

$$H_{R,I} = \frac{R_{R,I} [3(m-1)^2 - R_{R,I}]}{12} \quad (3)$$

dispersion constant는 수렴 후 등화기 출력의 통계치가 송신 심볼의 통계치와 matching시키도록 등화기 이득을 조절하는데 중요한 역할을 수행하며 식 (4)과 같이 된다.

$$R_R = \frac{E[s_{kr}^6 - s_{kr}^4(m-1)^2]}{E[s_{kr}^4 - s_{kr}^2(m-1)^2]}, R_I = \frac{E[s_{ki}^6 - s_{ki}^4(m-1)^2]}{E[s_{ki}^4 - s_{ki}^2(m-1)^2]} \quad (4)$$

그림 2는 FC-MMA 내부 구조를 나타낸 것이며, 식(4)에 modified dispersion constant가 정의되었다.

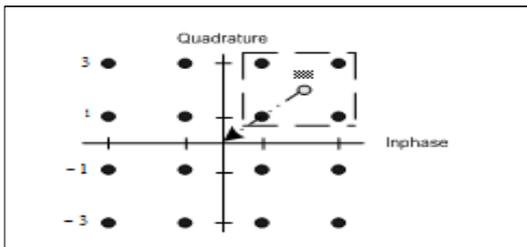


그림 2. FC-MMA의 내부 구조
 Fig. 2. Internal structure of FC-MMA

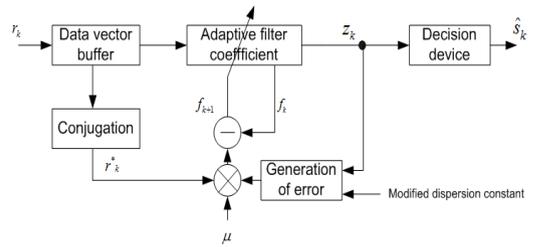


그림 3. FC-MMA의 오차 함수
 Fig. 3. Error function of FC-MMA

그림 3은 FC-MMA의 오차 함수를 나타낸 것으로 2개의 부차적인 0점이 중앙 심볼 레벨에 해당하는 특정 한 위치에서 발생된다. 이는 송신 정상도의 중앙 심볼 레벨 점에서 오차를 0으로 할뿐만 아니라 모든 오차 함수를 최소화한다. 식 (2)와 (4)를 이용하면 FC-MMA 알고리즘에서의 탭 계수 갱신식은 다음과 같이 된다.

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

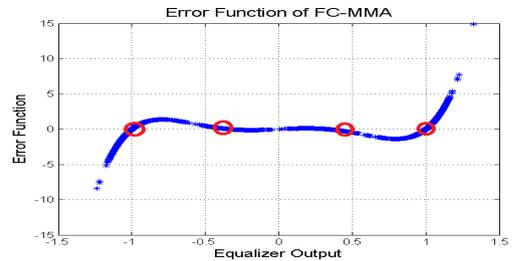


그림 4. RMMA의 신호점 변환
 Fig. 4. Constellation transform of RMMA

3. RMMA 알고리즘

RMMA는 입력 벡터 $R(k)$ 의 euclidean norm 제곱에 반비례하는 시변 스텝 크기를 갖는 Normalized-MMA 개념으로 동작하며, 송신 신호의 추정치를 이용하지 않고 등화기 출력에 비례하는 오차에 의해 탭 계수를 갱신하게 된다.[7] 먼저 Normalized-CMA에서 탭 계수 갱신식은 다음과 같다.

$$f(k+1) = f(k) + \frac{\mu}{\delta + \|R(k)\|^2} [d(k) - z(k)] R^*(k) \quad (6)$$

여기서 δ 는 매우 적은 양의 정수, $\|\cdot\|$ 은 \cdot 의 euclidean norm이고 $d(k)$ 와 $z(k)$ 는 원하는 응답의 추정값을 나타내며 이들은 다음의 관계가 성립된다.

$$d(k) = x(k)z(k) \quad (7)$$

$$x(k) = \begin{cases} \frac{(\beta\sigma_s^2 - |z(k)|^2)}{(\beta\sigma_s^2 - R)}, & |z(k)|^2 \leq \beta\sigma_s^2 \\ 0, & \text{기타} \end{cases}$$

여기서 $\sigma_s^2 = E[|s(k)|^2]$, $R = E[|s(k)|^4]/E[|s(k)|^2]^2$, $\beta = 2$ or 3 로 정의된다. 식 (6)의 Normalized-CMA를 MMA로 더욱 확장시켜 비용 함수를 적용하면 $d(k) - z(k)$ 를 $[d_R(k) + jd_I(k)] - [z_R(k) + jz_I(k)]$ 로 대체할 수 있다. 그림 4와 같이 복소 평면을 $M/4$ 개의 4-QAM region으로 분할되며 각 region A_k 는 4개의 심볼점을 존재하며, 그 중앙에는 $c(k) = c_R(k) + jc_I(k)$ 라는 심볼점이 있다. 등화기 출력이 어느 region에 속하며 그 중앙값은 얼마인지를 알 수 있으므로, 식별된 region과 중앙값을 이용하여 다음과 같은 변환이 필요하다. region 중앙값을 복소 평면 원점으로 이동시켜 4-QAM 신호로 취급하고, 변환 신호 $\bar{z}(k) = \bar{z}_R(k) + j\bar{z}_I(k)$ 는 $\bar{z}(k) = (z_R(k) - c_R(k)) + j(z_I(k) - c_I(k))$ 의 관계가 있으며, 변환된 후 특정 region내의 심볼점을 나타내는 $a_{km} = \pm 1 \pm j1$ 의 4-QAM 신호 형태가 된다. 또한 region A_k 의 위치 정보를 변환에 의해 잃더라도 비용 함수는 복소 평면상에서 A_k 의 위치 정보가 필요하게 되며, RMMA 알고리즘에서 변환에 의한 순간 비용 함수는 다음과 같이 정의된다.

$$\bar{J} = \frac{1}{8} \sum_{l=1}^{M/4} \alpha_l [|c_{Rl}| [1 - \overline{z_{Rl}^2}(k)]^2 + |c_{Il}| [1 - \overline{z_{Il}^2}(k)]^2] \quad (8)$$

여기서 식별되어진 region A_k 에서는 $\alpha_1 = 1$ 이 되며, 나머지 region에서는 $\alpha_1 = 0$ 가 된다. 또한 곱셈 인자인 $|c_{Rl}|, |c_{Il}|$ 는 변환 이전의 region 정보를 제공하게 된다. 식 (8)의 순간 비용 함수의 gradient는 다음과 같이 된다.

$$\nabla \bar{J} = \sum_{l=1}^{M/4} \alpha_l e_1(k) R^*(k) \quad (9)$$

$$e_1(k) = |c_{Rl}| [\overline{d_{Rl}(k)} - \overline{z_{Rl}(k)}] + j |c_{Il}| [\overline{d_{Il}(k)} - \overline{z_{Il}(k)}] \quad (10)$$

$$\overline{d_{Rl}(k)} = \overline{x_{Rl}(k)} \overline{z_{Rl}(k)}, \quad \overline{d_{Il}(k)} = \overline{x_{Il}(k)} \overline{z_{Il}(k)} \quad (11)$$

$$\overline{x_{Rl}(k)} = 1.5 - 0.5 \overline{z_{Rl}^2}(k), \quad \overline{x_{Il}(k)} = 1.5 - 0.5 \overline{z_{Il}^2}(k) \quad (12)$$

최종적으로 RMMA 알고리즘에서의 탭 계수 갱신식은 다음과 같이 쓸 수 있으며, δ 는 regularization factor로 양의 매우 적은 상수이다.

$$f(k+1) = f(k) + \frac{\mu}{\delta + \|R(k)\|^2} \overline{e_1(k)} R^*(k) \quad (13)$$

그림 5는 RMMA의 내부 구조를 나타낸 것으로 등화기 출력을 이용하여 region을 선택한 후, region의 중앙점 c_k 을 원점으로 변환시켜 오차를 얻도록 되어 있다. 그림 6은 RMMA의 오차 함수를 나타낸 것이며, 4개의 영역이 원점으로 이동되면서 발생하는 0 오차 함수의 궤적을 볼 수 있다.

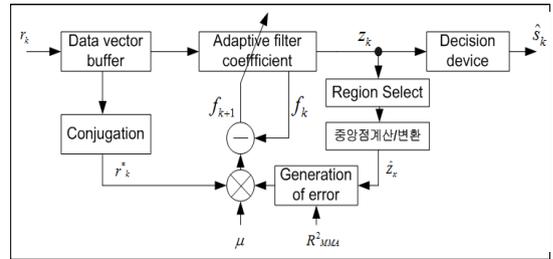


그림 5. RMMA의 내부 구조
Fig. 5. Internal structure of RMMA

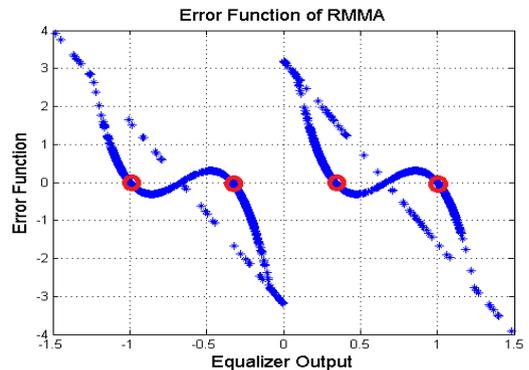


그림 6. RMMA의 오차 함수
Fig. 6. Error function of RMMA

III. 컴퓨터 시뮬레이션

적용 등화기의 탭 계수를 갱신할 때 사용되는 오차 신호를 상이한 방법으로 얻는 FC-MMA와 RMMA 알고리즘의 성능을 비교하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션을 위하여 동일한 채널에서 신호대 잡음비를 30dB, 적용 스텝 크기 μ 는 FC-MMA에서는 0.00025와 RMMA에서는 0.025 및 δ 는 0.00001이었으며, 등화기의 적용 필터 차수는 15차 FIR, 송신 신호로는 16-QAM을 이용하였다. 송신 신호는 부호간 간섭을 발생시키는 통신 채널을 통과한 후 원하는 신호대 잡음비를 갖는 잡음 n_k 를 추가하여 수신 신호 r_k 를 얻었으며, 이의 과정을 그림 7에 나타내었으며, 그림 8은 시뮬레이션에 사용된 채널의 임펄스 계수를 나타낸 것이다.

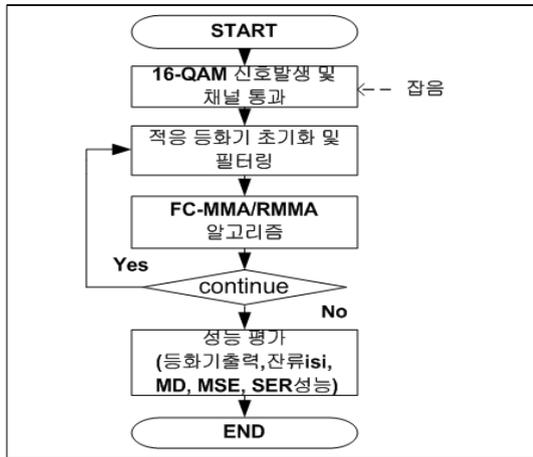


그림 7. 신호 처리 흐름도
 Fig. 7. Signal processing flowdiagram

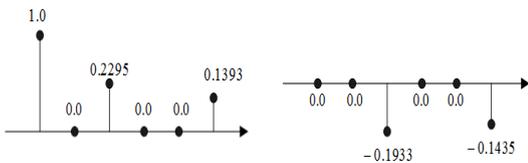


그림 8. 채널 계수
 Fig. 8. Channel coefficient

그림 9는 정상 상태에서 적용 등화기의 출력 신호 성상도를 나타낸 것이다. 성상도에서 16개의 신호점을 명확하게 알 수 있으며, 각 신호점간 거리가 멀며 신호점

폭이 좁을수록 등화 능력이 우수하다. 성상도에서 RMMA가 CR-MMA보다 신호점간의 거리가 멀고 신호점들의 폭이 좁게 되어 적용 등화 능력이 우월함을 정성적으로 알 수 있다.

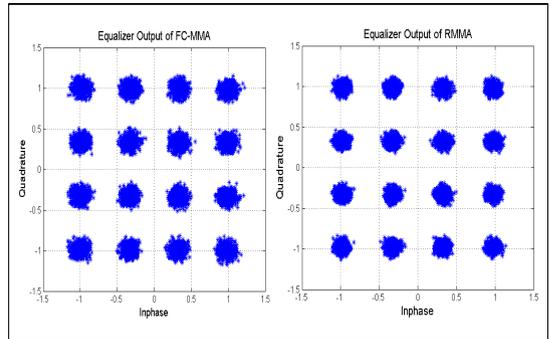


그림 9. 등화기 출력 신호 성상도
 Fig. 9. Equalizer Output signal constellation

적용 등화기의 성능을 나타내는 내부 지수로 잔류 isi (residual isi)와 최대 찌그러짐 (maximum distortion)을 사용하였으며 이들을 식 (14)에 정의하였다. 이들 지수로부터는 정상 상태에 도달하기 위한 수렴 속도와 정상 상태 이후 등화 알고리즘의 성능을 알 수 있다.

$$\text{잔류isi}_{dB} = 10 \cdot \log_{10} \frac{\sum |h_k \infty f_k|^2 - |h_k \infty f_{k \max}|^2}{|h_k \infty f_{k \max}|^2} \quad (14)$$

$$\text{최대찌그러짐} = \frac{\sum |h_k \infty f_k| - |h_k \infty f_{k \max}|}{|h_k \infty f_{k \max}|}$$

그림 10은 잔류 isi의 성능을 나타내고 있으며, 적용 등화기의 정상 상태를 -20dB로 설정할 때 여기에 도달하는 수렴 속도에서 FC-MMA는 654회, RMMA는 885회가 소요되어 수렴 속도에서는 FC-MMA가 RMMA보다 1.35배 정도 빠르지만, 정상 상태 이후의 잔여 성분에서는 RMMA가 CR-MMA보다 대략 0.4dB 정도 더욱 개선 시킴을 알 수 있다. 그림 11은 최대 찌그러짐 성능을 나타낸 것이며, 여기서도 정상 상태로 0.3Volt로 설정할 때 FC-MMA는 825회, RMMA는 996회가 소요되어 수렴 속도에서는 FC-MMA가 RMMA보다 1.2배 정도 빠르지만, 정상 상태 이후의 잔여 성분에서는 RMMA가 FC-MMA보다 대략 0.03Volt 정도 개선됨을 알 수 있다.

그림 10과 11의 정성적인 성능 비교 결과를 정량적으로 나타내기 위하여 각 알고리즘의 정상 상태 이후의 성

능 지수에 대한 통계치를 나타낸 것으로, 이들 2 가지 지수의 평균값에서 RMMA가 FC-MMA보다 우월하지만 수렴 속도에서는 늦어짐을 알 수 있다.

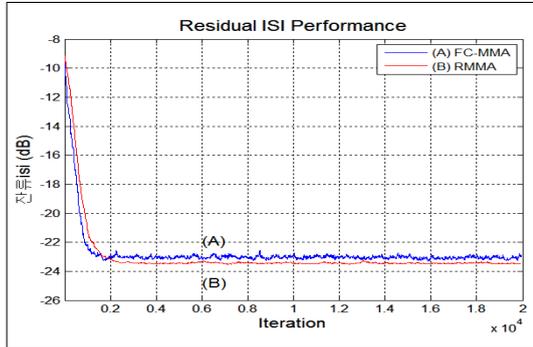


그림 10. 잔류 isi 성능
Fig. 10. Residual isi performance

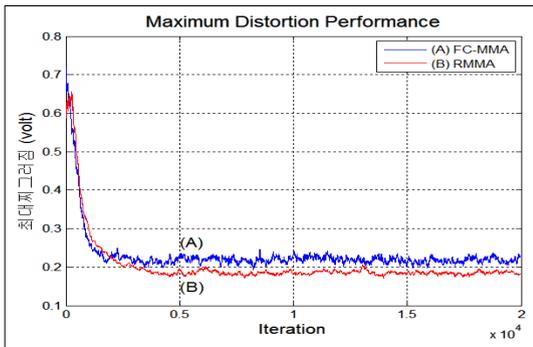


그림 11. 최대 찌그러짐 성능
Fig. 11. Maximum distortion performance

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

	FC-MMA	RMMA
잔류isi	평균 : 0.0050	평균 : 0.0046
	분산 : 1.5278e-7	분산 : 2.0425e-7
최대찌그러짐 (MD)	평균 : 0.2203	평균 : 0.1903
	분산 : 1.1429e-4	분산 : 2.8622e-4

그림 12는 FC-MMA와 RMMA 적응 등화 알고리즘의 외부 잡음에 대한 강인성을 나타내는 심볼 오류율 성능을 나타낸 것이다. 신호대 잡음비 SNR을 0~12dB 까지 2dB 단위로 변화시키면서 20,000개의 신호를 5회 반복 전송하면서 얻은 오류율이다. 시뮬레이션 결과 신호

점 변환의 원리를 이용하는 RMMA가 수정된 dispersion constant에 의한 FC-MMA보다 robustness가 훨씬 우월함을 알 수 있다.

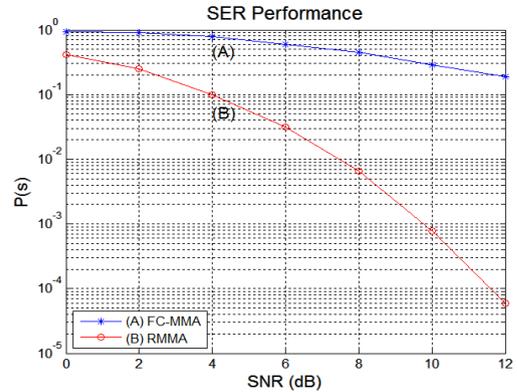


그림 12. SER 성능
Fig. 12. SER Performance

V. 결론

논문에서는 적응 등화기에서 신호 레벨을 고려하여 수정된 dispersion constant를 적용하여 MMA적용 등화기의 수렴 속도를 개선한 FC-MMA와 신호점의 변환에 의해 nonconstant modulus 신호를 constant modulus 신호로 바꾸어 적응 등화를 수행하는 RMMA 알고리즘의 성능을 비교하였다. 이는 등화기 탭 계수 갱신을 위한 오차 신호를 얻는데 다른 방법론을 적용한 것이며 서로 상이한 등화 성능을 얻을 수 있음을 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 적응 등화기에서 중요한 지수가 되는 잔류 isi와 최대 찌그러짐에서 수렴 속도는 FC-MMA가 RMMA보다 1.2~1.35배 정도 빠름을 확인하였지만 정상 상태 이후부터는 RMMA가 FC-MMA보다 우월하였다. 그러나 채널에서 부가되는 잡음에 대한 robustness를 확인하기 위한 SER 성능에서는 신호점 변환에 의한 RMMA가 수정 dispersion constant에 의한 FC-MMA보다 월등함을 알 수 있었다. 이와 같은 결과는 통신 채널 환경에 따라 상이한 방식의 등화 알고리즘이 적용되어야 하는 것인지를 결정짓는 중요한 기준이 될 것으로 기대된다. 또한 수렴 속도와 정상 상태 이후의 잔류광과 잡음에 대한 robustness가 우월한 새로운 방식의 적응 등화 알고리즘에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

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] K.Banovic, E.A.Raheem, M.A.S.Khalid, "A Novel Radius-Adjusted Approach for Blind Adaptive Equalization", IEEE Signal Processing Letters, Vol.13, No.1, pp.37~40, Jan. 2006.
- [3] J.M.Filho, M.T.M.Silva, M.D.Miranda, V.H.Nascimento, "A Region-based Algorithm for Blind Equalization of QAM Signals", IEEE/15th workshop on statistical signal processing, pp.685~688, 2009.
- [4] W. Rao, "Amplitude Transformation-Based Blind Equalization Part 2 : Suitable for High-Order QAM Signals", Int. Conf. on Environmental Science and Information Application Technology, Vol.10, pp.1282~1286, 2011.
- [5] S.G.Lim, "FC-MMA Adaptive Equalization Algorithm to improve the Convergence Speed of MMA in 16-QAM System", Jour. on I.W.I.T., Vol.14, No.1, pp.93~99, Feb. 2014.
- [6] S.G.Lim, "Performance Improvement of MMA Adaptive Equalization Algorithm by using the Constellation Reduction in QAM Signal", Jour. on I.W.I.T., Vol.14, No.5, pp.1~7, Oct. 2014.
- [7] S.G.Lim, "Performance Evaluation of RMMA Adaptive Equalization Algorithm in 16-QAM System", Jour. on I.W.I.T.,
- [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>

강 대 수(정회원)



- 1983년 : 경희대학교 전자공학과 학사 졸업.
- 1985년 : 경희대학교 전자공학과 석사 졸업.
- 1992년 : 경희대학교 전자공학과 박사 졸업
- 2005년 ~ 현재 : 공주대학교정보통신공학부 교수.

<주관심분야 : 디지털통신, 이동통신, 인지신호처리>