

<http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2014.14.1.93>

IIBC 2014-1-12

16-QAM 시스템에서 MMA의 수렴 속도를 개선시킨 FC-MMA 적응 등화 알고리즘

FC-MMA Adaptive Equalization Algorithm to improve the Convergence Speed of MMA in 16-QAM System

임승각*

Seung-Gag Lim*

요약 본 논문은 16-QAM 신호 전송시 시분산 채널에서 발생하는 부호간 간섭을 경감시키기 위하여 사용되는 적응 등화 알고리즘인 MMA (Multi Modulus Algorithm) 의 수렴 특성을 더욱 개선시킨 FC-MMA (Fast Convergence-MMA)에 관한 것이다. 통신 채널의 시변 특성 및 순단과 같은 비정상적인 상황에서 적응 등화기는 신속하게 새로운 환경에 적응하여야 하며, 이를 나타내는 성능 지수로는 수렴 특성을 나타내는 잔류 isi와 최대 찌그러짐이 널리 사용되고 있다. 송신 신호로는 16-QAM을 사용하였으며, 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 동일한 채널 환경 하에서 FC-MMA 알고리즘이 기존의 MMA 알고리즘보다 잔류 isi는 1.75배, 최대 찌그러짐에서는 2.5배 정도의 정상 상태에 도달하기 위한 빠른 수렴 성능을 가짐을 확인하였다.

Abstract This paper deals with the FC-MMA (Fast Convergence-Multi Modulus Algorithm) which is improving the convergence characteristics of the MMA (Multiple Modulus Algorithm) adaptive equalization algorithm that is used for the minimization of the intersymbol interference which occurs in the time dispersive communication channel. In the time varying characteristics and the abnormal situation like as outage of the communication channel, the adaptive equalizer needs to adapting the new environment more rapidly. For this problem, the residual isi and the maximum distortion performance index which are meaning the convergence characteristics are widely adapted in the adaptive equalizer. The 16-QAM signal is transmitted and it was confirmed that the proposed algorithm, the FC-MMA has the fast convergence performance such as in the 1.75 times fast in residual isi and 2.5 times fast in the maximum distortion in order to reaching the steady state compare to the MMA algorithm in the same channel environment by the computer simulation.

Key Words : MMA, FC-MMA, Residual isi, Maximum Distortion, Consellation Dependent Constant

1. 서론

이동 무선 멀티미디어 통신과 같은 대량의 정보를 고속 이동하면서 주고 받거나 인공 장애물등에 의한 전파 음영 지역이 존재하는 경우 무선 채널의 상태는 이동에

의한 도플러 주파수 천이 (Doppler Frequency Shift) 발생 및 전파 경로상의 감쇠 상수가 수시로 변동하고 다중 경로 (Multi Path) 환경이 형성되면서 이들 성분들의 전파 지연 시간 (Propagation Delay Time)이 상이하게 된다. 또한 다중 성분들이 수신측에 랜덤하게 합성되어져

*정회원, 공주대학교 정보통신공학부
접수일자 2013년 10월 18일, 수정완료 2013년 12월 23일
게재확정일자 2014년 2월 7일

Received: 18 October, 2013 / Revised: 23 December, 2013

Accepted: 7 February, 2014

*Corresponding Author: sglim@kongju.ac.kr

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

서 수신 신호는 확률적으로 진폭은 Rician 또는 Rayleigh 분포, 위상은 Uniform 분포하는 다중 경로 페이딩을 수반한다. 또한 전파 음영 지역에서는 수신 신호의 강도에 따라 순간적인 Outage가 발생되기도 한다. 이와 같은 열악한 전파 환경으로 인하여 이동 통신에서는 최대 정보 전송율이 제약을 받거나 심볼 오류율 (SER : Symbol Error Rate) 증가와 동기 이탈등이 발생되어 전체 시스템의 전송 효율 및 성능이 유선 통신에 비하여 상당히 저하된다. 무선 채널의 이와 같은 문제점을 최소화시키기 위한 기술적 대책으로 송수신 펄터, MIMO (Multi Input Multi Output) 전송 기술, 부분 응답 부호화 (PRC: Partial Response Coding), 다이버시티 (Diversity)등을 들 수 있다. 이들 대책에는 외형적으로 별도의 구성을 필요로 하거나 통신 자원의 낭비와 송신 전력을 높여야 하므로 시스템의 직접적인 비용을 높힐 수 있지만, 시스템의 비용을 최소화하면서 고려되어질 수 있는 대책으로는 적응 등화기를 들 수 있다^{[1][2]}. 적응 등화기는 수신측에서 정보를 수신하면서 통신 채널에 의해 발생하는 찌그러짐과 페이딩에 의한 부호간 간섭의 영향을 제거할 수 있는 능력을 가지므로 통신 자원 낭비와 송신 전력의 증가 없이도 최적의 전송 효율과 throughput을 무선 채널에서 얻을 수 있는 좋은 대안이 되고 있다^{[2][4]}. 적응 등화기의 대표적인 알고리즘으로 CMA (Constant Modulus Algorithm), MMA (Multiple Modulus Algorithm)등이 있다. CMA는 원하는 수렴 속도를 얻을 수 있지만 진폭만 보상하므로 위상에 대해서는 별도의 외부 장치가 필요하게 되지만 MMA는 진폭과 위상을 동시에 보상할 수 있는 능력을 가지지만 수렴 특성은 CMA와 유사하다. 이와 같은 적응 등화기의 보상 성능을 나타내는 지수로는 수렴 속도와 MSE (Mean Square Error) 및 최대 찌그러짐과 SER (Symbol Error Rate)등이 있다^{[5][6]}. 특히 수렴 속도는 무선 이동 통신 채널의 시변 특성에 의한 급격한 전달 함수의 변화나 순단과 같은 장애 환경이 발생하는 경우 새로운 적응을 위하여 초기 상태에서 재적응 (Readaptation) 을 위한 시간을 말하며, 적응 등화기의 성능 지수로서 매우 중요하다. 본 논문에서는 주어진 16-QAM 송신 신호와 동일한 통신 채널 및 신호대 잡음 비하에서 기존 MMA 알고리즘에 비하여 수렴 특성을 더욱 개선시킨 FC-MMA의 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 비교하며, 이를 위한 지수로는 등화기 성능의 분석에 널리 사용되는 등화기 출력 신호 성장도, 잔류 isi와

최대 찌그러짐, MSE 및 SER를 사용하였다. 2장에서는 적응 등화기를 사용하는 통신 시스템 모델과 MMA와 FC-MMA 알고리즘에 대하여 설명한 후, 3 장에서는 시뮬레이션 과정 및 결과를 다루고 마지막 4장에서는 결론을 내리겠다.

II. 본 론

1. 적응 등화기를 갖는 통신 시스템 모델

그림 1은 MMA 또는 FC-MMA 알고리즘의 적응 등화기를 갖는 기저 대역 통신 시스템 모델을 나타낸 것이다. 송신측에서는 constant modulus 특성을 갖는 16-QAM과 같은 신호 s_k 를 송신하면 임펄스 응답이 h_k 인 채널을 통과하면서 가우시안 잡음 n_k 가 추가되어 수신된다. 이때 임펄스 응답 h_k 는 주파수 영역에서 진폭 전달 특성이 일정하지 않고, 위상 전달 특성은 비선형 특성을 갖게 되어 수신 신호 r_k 에는 이로 인한 부호간 간섭과 잡음 영향이 추가된다. 수신된 신호 r_k 는 응답이 f_k 인 등화기에 입력되어 진폭과 위상이 보상된 출력 신호 z_k 를 얻은 후 이 신호는 결정 장치를 통과하면서 최종 복원 신호 \hat{s}_k 를 얻게 된다. 이때 등화기의 응답 f_k 는 출력 신호 z_k 를 입력으로 다음에 설명되어질 MMA 또는 FC-MMA 알고리즘을 적용하여 각각의 비용 함수를 최소화시키도록 적응적으로 변화시킨다. 임펄스 응답 h_k 와 등화 필터 f_k 의 차수를 N 이라면 이들 간에는 다음의 관계식들이 성립되며, *는 선형 컨볼루션을 나타낸다.

$$\begin{aligned} h_k &= [h_0 \quad h_1 \quad h_2 \quad \dots \quad h_{N-1}] \\ f_k &= [f_0 \quad f_1 \quad f_2 \quad \dots \quad f_{N-1}] \\ r_k &= s_k * h_k + n_k, \quad z_k = r_k * f_k \end{aligned} \quad (1)$$

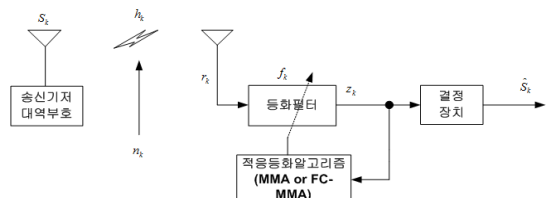


그림 1. 적응 등화기를 갖는 통신 시스템
Fig. 1. Communication system using adaptive equalizer

2. MMA 알고리즘

MMA는 등화기 출력 전력에 비례하여 signal constellation point의 각 subset에 이들 multiple modulus 중 1개를 할당시킨다. 또한 비용 함수는 2차원이 아닌 1차원의 함수로 구성되며, 비용 함수에서 등화기 출력의 실수와 허수부를 고려하므로 채널 위상 찌그러짐과 constellation 회전 특성을 보상할 수 있으며, 정상 상태에서 misadjustment에 의한 영향이 적으므로 등화 잡음이 적게 된다^{[3][5]}. MMA 적용 등화 알고리즘은 CMA 알고리즘을 개선한 것으로 등화 필터 계수 f_k 에 대한 특정한 비용 함수 J 를 최소화시키도록, 이를 stochastic gradient algorithm을 적용하여 반복시킨다. 여기서 비용 함수와 오차 함수는 각각의 알고리즘에 따라 상이하게 되며 MMA는 식(2)와 같이 정의된다.

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

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

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

여기서 R_{MMA}^p 를 constant modulus 또는 p차 dispersion constant라고하며 등화기의 출력이 modulus 주위에 위치하도록 계수 f_k 를 갱신 (update)하게 된다. 식(2)에서 p는 정수로서 일반적으로 2의 값을 많이 사용하며 z_{kr} , z_{ki} 는 등화기 출력 z_k 의 실수와 허수, I_{kr} , I_{ki} 는 송신 신호 I_k 의 실수와 허수를 각각 나타낸다. 식(2)의 MMA 비용 함수는 1차원의 CMA 비용 함수를 2개 더한 형태로 표시되므로 등화기 출력을 복소 평면에서 표시해보면 4개의 점 ($\pm R_{MMA} \pm j R_{MMA}$) 주위로 분포하게 된다. MMA의 오차 함수인 식(2)에서 이는 복소수 값이 되어 등화기 출력은 진폭과 위상이 보상되어지며 이들을 이용하여 등화 필터의 계수는 다음과 같이 갱신되어진다. 여기서 μ 는 적용 스텝의 크기를 나타낸다.

$$f_{k+1} = f_k - \mu \overline{e_{kMMA}} r_k^* \quad (3)$$

다음의 그림 2는 송신 신호가 16-QAM 인 경우 등화기 출력에서 MMA 알고리즘의 zero error contour를 나타낸 것으로서 반지름이 R_{MMA} 인 4개의 직사각형 주위로 임의의 출력 신호점 z_k 를 얻으면 x, y 방향 (복소수)으로 오차 신호의 크기와 위상을 알 수 있게 된다. 이들을 이용하여 식(2)와 같이 오차를 줄이도록 등화기의 계수를

갱신시킨다.

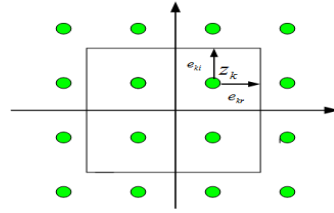


그림 2. MMA 알고리즘의 영-오차 윤곽선
Fig. 2. Zero-error contour of MMA algorithms

3. FC-MMA 알고리즘

FC-MMA은 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 오차 함수의 실수부와 허수부에 다음과 같이 주어지는 항을 곱하여 얻어진다.

$$\frac{(z_{kr}^2 - (m-1)^2)}{R_{FC-MMA}^2}, \frac{(z_{ki}^2 - (m-1)^2)}{R_{FC-MMA}^2} \quad (4)$$

여기서 m은 송신 신호의 심볼 레벨수를 나타내며 16-QAM에서는 2, 64-QAM에서는 4의 상수값이고, FC-MMA의 실수와 허수부의 비용 함수와 오차 함수는 다음과 같이 된다.

$$J_{k,R,FC-MMA} = E\left[\frac{z_{kr}^6}{6R_R} + \frac{(m-1)^2 z_{kr}^2}{2} - \frac{z_{kr}^4}{4} - \frac{(m-1)^2 z_{kr}^4}{4R_R} + H_R\right] \quad (5)$$

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

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

여기서 H_R , H_I 는 $J_{k+1,R;1} \geq 0$ 이 되도록 선택되어지는 적분 상수를 말하며 다음의 식 (6)과 같이 된다.

$$H_{R;1} = \frac{R_{R;1}[3(m-1)^2 - R_{R;1}]}{12} \quad (6)$$

dispersion constant는 수렴 후 등화기 출력의 통계치가 송신 심볼의 통계치와 matching시키도록 등화기 이득을 조절하는데 중요한 역할을 수행하며 식 (7)과 같이 계산된다.

$$R_R = \frac{E[s_{kr}^6 - s_{kr}^4(m-1)^2]}{E[s_{kr}^4 - s_{kr}^2(m-1)^2]}, R_I = \frac{E[s_{ki}^6 - s_{ki}^4(m-1)^2]}{E[s_{ki}^4 - s_{ki}^2(m-1)^2]} \quad (7)$$

식 (5)와 (7)을 이용하면 FC-MMA 알고리즘에서의 탭 계수 갱신식은 다음과 같이 된다.

$$f_{k+1} = f_k - \mu e_{k,FC-MMA} r_k^* \quad (8)$$

III. 컴퓨터 시뮬레이션

FC-MMA 블라인드 적응 등화 알고리즘의 개선된 수렴 특성을 기존 MMA와 비교, 확인하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션을 위한 파라미터로는 SNR을 30dB, 적응 스텝 크기 μ 를 동일하게 0.0004, 등화기용 적응 필터의 차수는 15차 FIR로 설정하였다. 송신 복소 신호 16-QAM 신호를 발생시킨 후 부호간 간섭이 발생하는 통신 채널을 통과 및 잡음 신호 n_k 를 부가한 후 수신 신호 r_k 을 얻었으며 시뮬레이션을 위한 신호 처리 과정을 그림 3에 나타내었다. 채널에서 발생하는 찌그러짐을 보상하기 위한 필터 계수의 갱신은 MMA는 식 (3)과 FC-MMA는 식(8)을 적용하였으며, 그림 4는 부호간 간섭을 발생시키는 통신 채널의 주파수 전달 함수를 진폭과 위상으로 구분하여 나타낸 것이다. 진폭 전달 함수의 경우 주파수에 따라 통과되는 이득이 3.5dB 범위 내에서 많은 변동이 있음을 알 수 있으며, 위상은 경우 주파수마다 기울기가 일정치 않아 균지연이 발생됨을 알 수 있다.



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

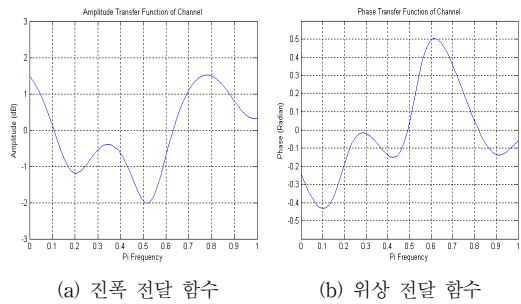


그림 4. 채널의 주파수 전달 함수
Fig. 4. Frequency transfer function of channel

이상의 시뮬레이션 환경을 통하여 MMA와 FC-MMA 알고리즘을 구현하여 이들의 성능을 비교하였다. 성능 비교를 위한 지표로는 등화기 출력 신호 constellation, 잔류 isi와 최대 찌그러짐, MSE, SER를 사용하였다. 첫 번째 지표로서 그림 5는 부호간 간섭을 제거된 후의 정상 상태에서 등화기 출력 신호 constellation을 나타낸 것이며, 이 신호가 결정 장치에 입력되어 송신 심볼을 추정, 복원하게 된다. 16개의 심볼점에 대하여 명확하게 구분되어지며 이들이 square 형태로 분포하기 때문에 부호간 간섭에 의한 진폭과 위상 찌그러짐이 상당히 보상됨을 알 수 있다. 그러나 각 신호점을 나타내는 폭이 적고 좁으며 신호점간의 거리가 클수록 우수한 보상 특성을 갖는 알고리즘이므로 그림에서는 MMA와 FC-MMA의 복원 정상도에서 우월성을 확인하기 어렵다.

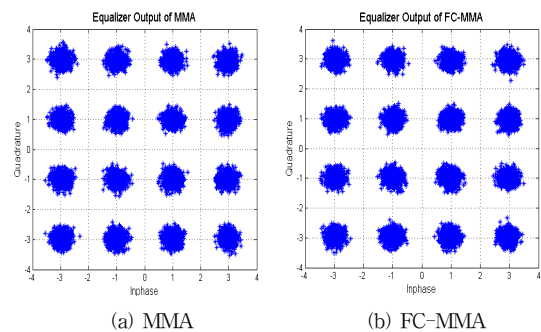


그림 5. 등화기 출력 신호 정상도
Fig. 5 Signal constellation of equalizer output

두 번째로 성능을 나타내는 지표로는 잔류 isi (Residual isi)와 최대 찌그러짐 (Maximum Distortion)과 MSE를 사용하였다. 먼저 잔류 isi는 통신 채널 h_k 와 등

화 필터 계수 f_k 가 완전 보상이 될 때 시간 영역에서는 이들의 convolution 결과는 임펄스 신호가 되며 주파수 영역에서는 평탄한 전달 특성을 갖게 된다. 그러나 시간 영역에서 이의 완전 보상은 불가능케 되어 임펄스 성분을 제외한 나머지 잔류 성분들의 크기를 나타내므로 이들의 양이 적을수록 우수한 성능을 갖게 되며, 최대 찌그러짐은 그림 5의 출력 신호 정상도에서 원래의 신호점을 중심으로 그 벌어짐의 정도를 나타내는 폭을 의미한다. 마지막으로 MSE는 이들의 알고리즘에서 식 (2)와 식(5)의 자승치를 나타낸 것으로 이들은 다음의 식과 같이 정의된다.

$$\text{잔류 } isi_{dB} = 10 \cdot \log_{10} \frac{\sum |h_k * f_k|^2 - |h_k * f_{k_{\max}}|^2}{|h_k * f_{k_{\max}}|^2} \quad (12)$$

$$\text{최대 찌그러짐} = \frac{\sum |h_k * f_k| - |h_k * f_{k_{\max}}|}{|h_k * f_{k_{\max}}|}$$

$$MSE_{dB} = 10 \log_{10} [e_{k_{MMA}}]^2 \quad \text{or} \quad 10 \log_{10} [e_{k_{FC-MMA}}]^2$$

그림 6은 두 번째 성능 평가 지수중 잔류 isi 성능을 16-QAM 신호를 대상으로 20000회 반복 수행시킬 때의 결과를 나타낸 것이다. 전체적으로 이들 알고리즘이 -23dB 정도로 안정되게 수렴함을 알 수 있으며, 시뮬레이션 경험 상 잔류 isi양이 -20dB 이하를 정상 상태로 볼 수 있으므로 이를 달성하기 위한 iteration의 수가 MMA는 1735회, FC-MMA는 992회가 필요케 된다. 즉 이는 채널의 시변 상태나 순단등의 비정상 상태에서 적응 등화기가 정상 상태에 도달하기 위한 수렴 속도 측면에서 FC-MMA가 MMA보다 1.75배 정도 빠름을 알 수 있으며 정상 상태 이후에도 이들의 양과 변화 범위가 매우 적어짐을 알 수 있다. 또한 FC-MMA는 잔류 isi양의 변화 범위는 MMA보다 적어 탭 계수 갱신에 의한 misadjustment가 적어지게 되어 등화 잡음이 감소됨을 나타낸다.

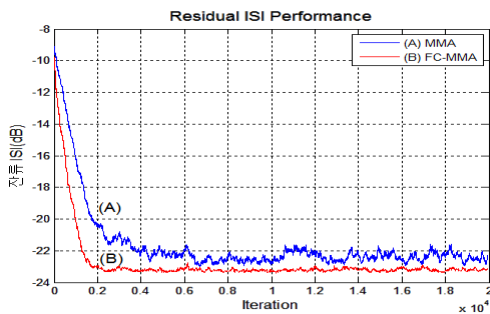


그림 6. 잔류 isi 성능
Fig. 6. Residual isi performance

그림 7은 두 번째 지수인 최대 찌그러짐 성능을 나타낸 것이다. 이는 그림 5의 정상도에서 송신 신호점을 중심으로 그 폭을 나타내는 것으로 등화 초기의 상태에서 서서히 감소되어 정상 상태로 진입할수록 그 양이 한계에 도달하는 안정 상태로 등화가 이루어짐을 알 수 있다. 경험적으로 0.3V 이하를 정상 상태로 정의할 때 MMA는 3126회, FC-MMA는 1241회가 필요케 되어 FC-MMA가 약 2.5배 정도 빠름을 알 수 있다.

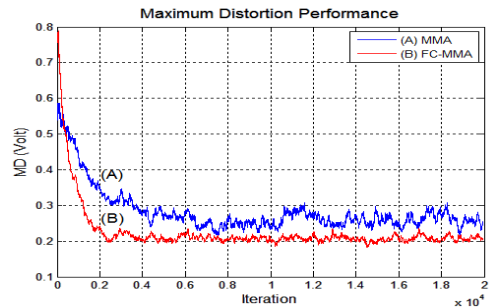


그림 7. 최대 찌그러짐 성능
Fig. 7. Maximum distortion performance

적응 등화기의 수렴 특성을 결정짓는 잔류 isi와 최대 찌그러짐의 2 가지 성능 지수에서 FC-MMA가 MMA보다 1.75 ~ 2배 정도의 빠름을 그래프를 통해 확인할 수 있다.

그림 8은 세 번째 지수인 MSE 성능을 나타낸 것이다. 초기의 상태에서 수렴 상태로 진입하며 안정된 상태가 지속됨을 알 수 있지만, FC-MMA가 MMA보다 더욱 안정됨을 알 수 있다. 또한 FC-MMA는 수렴 속도를 개선시키며 정상 상태에서 그 양이 적은 MSE 성능에서는 MMA보다 우수하지만 변동폭이 커짐을 알 수 있다. 이는 송신 신호의 심볼점 사이에 fast convergence를 위하여 강제적으로 null의 삽입에 의한 MSE 성능을 저하시킨다.

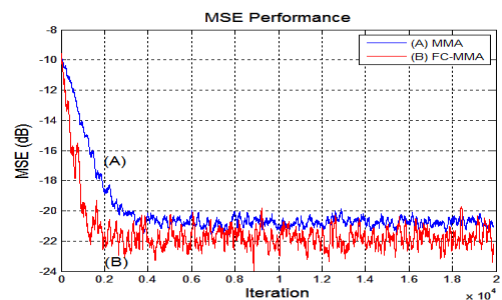


그림 8. MSE 성능
Fig. 8. MSE performance

표 1은 그림 6, 7, 8에서 제시되어진 잔류 isi, 최대 찌그러짐 및 MSE 성능에 대한 정량적인 비교를 위하여 정상 상태 이후의 평균과 분산을 나타낸 것이다. 정상 상태 이후에도 이들 잔류 isi와 최대 찌그러짐 및 MSE 에서는 FC-MMA가 MMA 보다 우월함을 알 수 있다.

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

	MMA		FC-MMA	
	평균	분산	평균	분산
잔류 isi	평균	0.006	평균	0.0048
	분산	6.3363e-7	분산	2.0473e-7
최대 찌그러짐	평균	0.2630	평균	0.21
	분산	4.5695e-4	분산	1.4472e-4
MSE	평균	0.0085	평균	0.0068
	분산	4.1757e-7	분산	8.3847e-7

마지막 성능 지수로는 등화 알고리즘의 잡음에 대한 강인성(Roburstness)를 알아보기 위하여 신호 전력과 채널에서 부가되는 잡음 전력의 비인 신호대 잡음비 (SNR: Signal to Noise Ratio)에 대한 SER (Symbol Error Rate) 성능을 그림 9에 나타내었다. 그림에서 신호대 잡음비가 적은 0~10dB 범위 내에서는 MMA가 FC-MMA보다 우월하지만, 10dB 이상에서는 FC-MMA가 MMA보다 양호함을 알 수 있다. 따라서 10dB 이상의 신호대 잡음비에서 FC-MMA가 빠른 수렴 속도와 양호한 SER 성능을 얻을 수 있었다. SER이 10^{-2} 인 경우 FC-MMA가 MMA보다 대략 1.5dB 정도의 등화 이득을 얻을 수 있다.

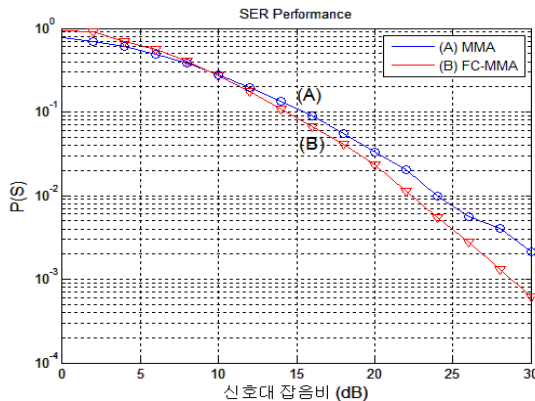


그림 9. SER 성능
Fig. 9. SER performance

V. 결론

논문에서는 대역 제한과 다중 경로 통신 채널에서 발생하는 부호간 간섭을 최소화하기 위한 적응 등화 알고리즘인 MMA의 수렴 특성을 개선한 FC-MMA의 성능을 분석하였다. FC-MMA는 송신 심볼의 중앙에 null을 삽입하는 비용 함수를 이용하여 기존 MMA 적응 등화기 성능에서 수렴 특성을 나타내는 잔류 isi와 최대 찌그러짐을 1.75배와 2.5배의 빠른 수렴 속도를 가지며, 채널에서 발생하는 SER 성능에서도 10^{-2} 의 심볼 오류율을 얻기 위하여 요구되는 신호대 잡음비를 기존 MMA에 비해 약 1.5dB 절약할 수 있는 Roburstness가 개선되었지만, MSE 성능에서는 열화됨을 컴퓨터 시뮬레이션으로 확인하였다. 이는 기존 MMA에서는 송신 심볼점을 그대로 이용하는 비용 함수를 이용하지만 FC-MMA에서는 심볼점들의 중앙에 null을 강제로 삽입하기 때문이다. 이와 같은 연구 결과는 통신 채널의 급격한 변화 또는 순단과 같은 적응 등화기의 재적응이 필요한 상황에서 얼마나 빠르게 정상 상태에 도달할 수 있는가를 나타내므로 등화기로서의 중요한 성능 지수이므로, 이를 더욱 향상시키기 위한 새로운 알고리즘에 대한 연구가 지속적으로 필요할 것이다.

References

- [1] S.U.H.Qureshi, "Adaptive Equalization", Proc. of the IEEE 73(9), pp.1349~1387, 1985
- [2] D.N.Godard, "Self-recovering Equalization and carrier tracking in two-dimensional data comm. system", IEEE Trans. on Comm., Vol. 28, pp.1867~1875, Nov. 1980
- [3] J.Yang, J.J.Werner, G.A.Dumont, "The multimodulus blind equalization and its generalized algorithm", IEEE J. Sel. Areas Commun., 20(5), pp.997~1015, June 2002
- [4] S.A.Sheikh, P.Fan, "Fast Convergence Multimodulus Algorithm for Blind Equalization of QAM Signals", Int. Conf. on Information and Emerging Technology, pp.1~5, 2007
- [5] S.Abrar, A.Zerguine, "A New Multimodulus Blind

- Equalization Algorithm", Int. Conf. on Networking and Communication, pp.165~169, 2004
- [6] L.He, S.A.Kassam, "Convergence Analysis of Blind Equalization Algorithm Using Constellation Matching", IEEE Trans. on Communications, Vol.56, No.11, pp.1765~1768, Nov. 2008
- [7] V.Weerackody, S.A.Kassam, "Convergence Analysis of an algorithm for blind equalization", IEEE Signal Proc. Letter, Vol.13, No.1, pp.37~40, Jan. 2006
- [8] Lim S.G., "The Performance Comparison of the MMA and SCA Algorithm for Self Adaptive Equalization", Journal of I.W.I.T., Vol.12, No.2, pp.159~165, Apr. 2012
- [9] KH.Oh, "A Design of Error Signals Effective for Blind Equalization in Both of Initial Phase and Steady-State", Journal of K.I.I.T., Vol.10, No.6, pp.45~51, June 2012

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>