

<http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2013.13.1.19>

JIIBC 2013-1-3

QAM 신호에 대한 MMA와 S-MMA 적응 등화 알고리즘의 성능 비교

The Performance Comparison of MMA and S-MMA Adaptive Equalization Algorithm for QAM Signal

강대수*, 임승각**

Dae-Soo Kang, Seung-Gag Lim

요약 본 논문에서는 시분산 채널에서 발생하는 진폭과 위상 찌그러짐을 동시에 보상할 수 있는 적응 등화 알고리즘인 MMA (Multiple Modulus Algorithm)와 S-MMA (Sliced-MMA)의 성능을 비교하였다. 기존 CMA 알고리즘은 진폭만을 복원하며 위상의 복원이 불가능하므로 이를 위해 별도의 부가 회로가 필요케 되는 단점을 극복하기 위해 MMA 알고리즘에서는 개선된 비용 함수를 적용하였다. MMA 알고리즘에서는 탭 계수의 갱신을 위해 dispersion constant를 이용한 오차를 표현하고, S-MMA에서는 결정 장치의 출력 (Sliced-Symbol)을 고려한 dispersion constant를 이용한 오차를 표현하게 되어, 이와 같은 오차 신호의 차이로 인하여 적응 등화 알고리즘은 서로 상이한 성능을 갖게 된다. 논문에서 QAM 신호의 차수를 16과 64로 한 후 동일 채널을 통과하여 신호를 수신할 때 이들 적응 등화 알고리즘의 성능을 나타내는 지수로 복원 정상도, 잔류 isi, MD 및 SER을 적용하여 비교한다. 시뮬레이션 결과 S-MMA가 QAM의 차수가 높을수록 MMA보다 SER 성능이 개선으로 Roburstness가 개선됨을 확인하였다.

Abstract This paper deals with the performance comparison of blind adaptive equalization algorithm, the MMA and S-MMA, that is used for compensation of the amplitude and phase distortion simultaneously which occurs in the time dispersive channel. The present CMA algorithm is possible to compensates the amplitude only, but not in phase, so it needs to the another additional circuit for compensating the phase. In order to overcoming the abovementioned shorthand, the improved cost function is applied to the MMA algorithm. In MMA algorithm, the error is consists of the dispersion constant only, but in S-MMA, the error is consists of the dispersion constant considering the output of decision device (sliced symbol) in order to updating the tap coefficients. By using the two kind error signal, the adaptive equalization algorithm has different performance. In this paper, we compare to the adaptive equalization algorithm performance by using the recovered constellation, residual isi, MD (Maximum Distortion) and SER as a index when the transmitting signal is 16 and 64-QAM and then passing through the same communication channel. As a result of simulation, the S-MMA can improving the Roburstness in SER performance compared to the MMA in the high order QAM signal.

Key Words : MMA, S-MMA, 잔류 isi, dispersion constant, Maximum Distortion

*정회원, 공주대학교 정보통신공학부

**정회원, 공주대학교 정보통신공학부 (교신저자)

접수일자 : 2013년 1월 2일, 수정완료 : 2013년 2월 2일

게재확정일자 : 2013년 2월 8일

Received: 2 January 2011 / Revised: 2 February 2013 /

Accepted: 8 February 2013

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

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

I. 서 론

시분산 (time dispersive) 통신 채널에서는 다중 경로와 대역 제한 (Band Limit) 현상에 의해 발생하는 군 지연 (Group Delay)에 의해 디지털 신호 전송에서는 이전 부호의 영향이 다음 부호에 영향을 주는 부호간 간섭 (ISI : InterSymbol Interference) 이 발생된다^[1]. 이로 인하여 심볼 오류율 (SER)이 증가되므로 오류 제어 부호화가 필요케 되어 전송 효율을 저하시킨다. 부호간 간섭의 영향을 줄이기 위하여 전송 신호의 대역폭을 채널의 대역폭보다 좁게 하기 위한 최적 송수신 필터나 차등 부호화 또는 상관 부호화 (Correlative Coding) 기법을 사용한다^{[2][5][6]}. 첫째 방법의 경우 통신 채널의 환경이 유선, 무선의 경우 전송 신호의 대역폭을 압축하거나 환경에 따른 최적 필터를 사용할 수 있으나 다양한 채널에서 이의 사용은 매우 제한적이며, 두 번째 방법에서 차등 부호화의 경우 복호 시 한번 오류가 발생되면 이의 영향이 지속되는 문제점과 상관 부호화의 경우 과도한 송신 전력이 요구되는 문제점을 갖게 된다. 이와 같은 문제점을 고려하여 현재 널리 사용되는 방법이 등화기 (equalizer)이다. 등화기는 채널의 역 특성을 갖는 필터로 구성되지만, 이를 위해서는 채널의 특성을 사전에 알아야 한다. 등화기의 이와같은 한계를 개선시킨 적응 등화 방식에서는 일정한 시간 간격으로 학습열 전송에 의한 overhead가 존재하게 되며, 예로 GSM 방식에서는 20~25% 정도가 된다. 이를 개선하여 학습열의 도움이 없어도 적응적으로 등화할 수 있는 블라인드 적응 등화 방식이 등장하여 학습열의 전송에 의한 시간적인 overhead와 전송 대역폭의 낭비, 전송 효율 저하 등을 제거할 수 있으므로 오늘날 널리 사용되고 있다. 블라인드 적응 등화 알고리즘은 Godard가 제안한 등화 알고리즘의 특별한 경우에 해당하는 CMA (Constant Modulus Algorithm)를 들 수 있다. 여기서는 원하는 수렴 특성을 얻기 위한 비용 함수는 진폭만의 함수로 되어 있으며 신호의 정상도가 constant modulus 특성을 갖도록 모든 신호의 진폭을 조정한다. 반면 위상에 대해서는 보상이 불가능하므로 별도의 위상 보정용 장치가 필요하다^{[2][3]}. 이를 보완하기 위한 다양한 알고리즘이 등장하여 MMA (Multi Modulus Algorithm)도 이의 대표적인 경우이다. MMA의 비용 함수 또는 오차 함수는 복소수 형태로 진폭과 위상의 함수로 표현되며 수신측 복원 신호 정상도에서 이들을 동시에 보상할

수 있게 된다^{[3][4]}. 또한 등화기의 출력 전력에 따라 각 신호 정상도상의 점에 대해 modulus가 multiple로 할당한다. CMA에 비하여 MMA의 성능은 위상 복원 능력을 더 가지지만 전체적인 등화 성능은 열화된다^{[5][6]}. 그러나 스펙트럼 효율의 개선시키기 위해 고차의 QAM이 사용되면 CMA와 MMA의 잔류 isi 및 최대 찌그러짐 (MD : Maximum Distortion) 및 SER 성능이 급격히 저하되는 문제점이 있다. 이를 개선키 위해 S-MMA가 등장하였으며^[4], 여기에서는 CMA, MMA에 사용되는 dispersion constant에 결정 장치의 출력 신호 (Sliced Output)를 고려토록 조정하였다. 본문에서는 16 과 64-QAM을 대상으로 MMA와 S-MMA 알고리즘을 컴퓨터 시뮬레이션 하여 이들 적응 등화 알고리즘의 성능을 나타내는 복원 신호 정상도, 수렴 특성을 나타내기 위한 잔류 isi와 최대 찌그러짐 및 SER를 직접 비교하며 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 등화기를 사용하는 기저 대역 통신 모델과 MMA 와 S-MMA 알고리즘에 대해 설명한다. 3장에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 위한 환경과 파라미터 값의 정의 및 적응 등화기의 성능 지수인 복원 정상도, 잔류 isi 및 MD, SER에 대한 시뮬레이션 결과를 제시하고, 마지막으로 4장에서는 결론을 내리겠다.

II. 본 론

1. 적응 등화 시스템 모델

그림 1은 기저 대역에서 적응 등화 시스템을 적용한 통신 시스템의 송수신부를 나타낸 것으로서 변조부와 복조부를 생략하였다. 송신측에서 16 또는 64-QAM 기저 대역 신호 s_k 를 전송하면 임펄스 응답이 h_k 인 채널을 통하면서 부호간 간섭이 발생된 후 백색 가우시안 잡음이 부가되어 수신측에 전달된다. 이와 같이 수신된 신호는 블라인드 적응 등화기 (blind adaptive equalizer)를 나타내는 계수가 f_k 인 디지털 필터를 통과시켜 부호간 간섭을 경감시킨 후 결정 장치를 통해 송신 신호를 추정치 \hat{s}_k 를 얻게 된다. 이때 적응 등화기의 계수 f_k 는 2장에서 설명되어질 MMA 또는 S-MMA 알고리즘에 의해 자동적으로 갱신되어진다. 주파수 영역에서는 채널의 임펄스 응답 h_k 의 푸리에 변환치를 $H(\omega)$, 등화기의 디지털 필터 계수 f_k 의 푸리에 변환치를 $F(\omega)$ 라면 이론적으로

다음의 관계가 성립되며 지연 시간은 무시하였다.

$$H(\omega) \cdot F(\omega) = 1 \quad (1)$$

즉 주파수 영역에서 채널과 등화기의 종합 주파수 특성은 1이 되어 송신 신호 s_k 가 갖는 모든 주파수 성분을 그대로 통과시키게 되어 수신측의 결정 장치에서 그대로 추정할 수 있게 된다. 또한 시간 영역에서는 다음의 관계가 성립된다.

$$h_k * f_k = \delta \quad (2)$$

여기서 *는 convolution을, δ 는 임펄스 함수를 나타낸다. 그러나 통신 채널이 시변인 경우에 사용되는 적응 등화 알고리즘에서는 복수회의 반복 수행(iteration)을 통하여 위의 관계식에 접근해가는 수렴 특성을 얻을 수 있게 된다.

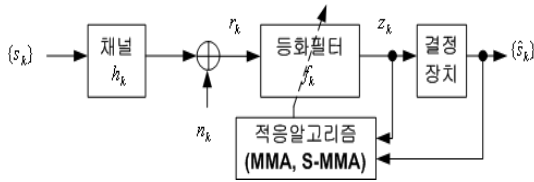


그림 1. 적응 등화 시스템 모델
Fig. 1. Adaptive Equalization system model

2. MMA 알고리즘

그림 1의 시스템 모델에서 송신 신호 s_k 는 통신 채널 h_k 를 통과하면서 부호간 간섭의 원인이 되는 찌그러짐이 발생된 후 원하는 신호대 잡음비를 갖도록 잡음 신호 n_k 가 부가된 후 수신 신호 r_k 를 얻는다.

$$r_k = s_k * h_k + n_k \quad (3)$$

수신 신호는 유한 차수의 계수를 갖는 등화 필터 f_k 를 통과하면서 채널 찌그러짐을 보정한 후 결정 장치(decision device)를 통과시켜 복원 신호 \hat{s}_k 를 얻게 된다. 이때 등화 필터의 계수 f_k 는 식(2)의 관계가 되도록 적응적으로 변화시키게 되며, 이를 위해 MMA 적응 알고리즘이 적용된다. 등화 필터의 출력 신호 z_k 는 그림 2의

영-오차 윤곽선상에서 일정한 moduli의 단일 정사각형이 되도록 조정되며 이 moduli와 실제 출력 신호 z_k 와의 오차 신호 e_k 는 실수부 e_r 와 허수부 e_i 로 나뉘어 진폭과 위상을 갖게 된다.

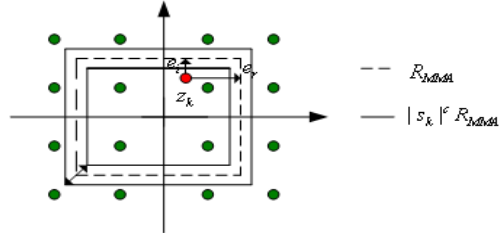


그림 2. MMA와 S-MMA의 영-오차 윤곽선
Fig. 2. Zero-Error Contour of MMA & S-MMA

MMA 적응 등화 알고리즘에서는 다음과 같이 정의되는 비용 함수 J 를 최소화하도록 SGA (Stochastic Gradient Algorithm)을 적용하여 반복시킨다.

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

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

여기서 z_{kr}, z_{ki} 은 z_k 의 실수와 허수를, s_{kr}, s_{ki} 은 s_k 의 실수와 허수를 각각 나타내며, R_{MMA}^2 는 MMA의 dispersion constant를 의미한다. 식(4)의 비용 함수는 1차원 CMA 비용 함수를 2개 더한 형태로 표시됨을 알 수 있으며 오차 함수와 등화 필터 계수의 갱신식은 다음과 같이 된다.

$$\bar{e}_k = z_{kr}(|z_{kr}|^2 - R_{MMA}^2) + jz_{ki}(|z_{ki}|^2 - R_{MMA}^2) \quad (5)$$

$$f_{k+1} = f_k - \mu \bar{e}_k f_k^*$$

MMA 알고리즘에서는 등화 필터의 출력 z_k 는 복소 평면에서 4개의 점 $\pm R_{MMA} \pm j R_{MMA}$ 주위로 존재하도록 탭 계수를 갱신하게 된다.

3. S-MMA 알고리즘

기존의 CMA와 MMA 알고리즘은 QAM 신호의 레벨 수가 증가(스펙트럼 효율의 증가) 할수록 정상 상태에서

신호의 constellation과 비용 함수간의 mismatch 정도가 증가되어 등화기 출력에서 tap adaptation noise가 발생되어 등화 성능이 열화되어 SER 가능성이 증가된다. 이를 줄이기 위해서는 적응 스텝 크기 μ 를 적게 하거나 mismatch metric을 적게 하여야 한다. 스텝을 적게 하면 수렴 속도가 늦어지기 때문에 mismatch metric을 적게 하여 성능 열화를 방지하기 위하여 S-MMA가 등장하였다. 여기서는 MMA의 dispersion constant에 결정 장치의 출력 \widehat{s}_{kr} , \widehat{s}_{ki} 의 절대치값을 적절하게 가중치를 취하여 얻어진다. 즉 같은 값을 갖는 $|\widehat{s}_{kr}|$ 나 $|\widehat{s}_{ki}|$ 의 심볼 군에 대하여 독립적인 dispersion constant를 할당하는 비용 함수를 설정하게 된다. 그림 2의 영 오차 윤곽선에서 MMA의 dispersion constant R_{MMA} 대신 sliced dispersion constant인 $|\widehat{s}_k|^c R_{MMA}$ 를 이용하여 출력 z_k 는 인접한 modulus에 mapping되어 해당되는 오차 신호를 얻게 된다. sliced dispersion constant는 $|\widehat{s}_k|^c$ 의 값에 따라 R_{MMA} 보다 크거나 작게 설정되어진다. 이와 같은 S-MMA의 비용 함수는 다음과 같이 정의된다.

$$J = E[(|z_{kr}|^2 - |\widehat{s}_{kr}|^c R_{MMA}^2)^2 + (|z_{ki}|^2 - |\widehat{s}_{ki}|^c R_{MMA}^2)^2] \quad (6)$$

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

$$\begin{aligned} \overline{e_{ksmma}} &= z_{kr} (|z_{kr}|^2 - |\widehat{s}_{kr}|^c R_{MMA}^2) + j z_{ki} (|z_{ki}|^2 - |\widehat{s}_{ki}|^c R_{MMA}^2) \\ f_{k+1} &= f_k - \mu \overline{e_{ksmma}} \mathbf{r}_k^* \end{aligned} \quad (7)$$

S-MMA에서는 등화 필터의 출력 z_{kr}, z_{ki} 는 $\text{sign}[z_{kr} \sqrt{|\widehat{s}_{kr}|^c R_{MMA}^2}]$ 와 $\text{sign}[z_{ki} \sqrt{|\widehat{s}_{ki}|^c R_{MMA}^2}]$ 의 point contour에 존재하도록 탭 계수를 갱신하게 된다.

III. 컴퓨터 시뮬레이션 및 결과

송신 기저 대역 신호가 16-QAM과 64-QAM 일때 적응 등화 알고리즘 MMA와 S-MMA의 성능을 비교, 확인하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이

션을 위한 파라미터로는 신호대 잡음비를 30dB, 적응 스텝의 크기를 동일하게 $\mu = 0.0015$ 로 설정하였고 17차 FIR 필터를 등화기에 적용하였다. 또한 S-MMA의 Sliced 성분을 고려하는 상수 c 의 값을 0.4로 설정하였다. 그림 3은 시 분산 통신 채널의 진폭 전달 함수와 위상 전달 함수를 나타낸 것으로, 진폭은 주파수에 따라 이득 변화가 3.5dB 범위 내에서 변하고, 위상은 주파수에 따라 기울기가 불규칙하여 군 지연이 발생됨을 알 수 있다. 그림 4는 전체 시뮬레이션을 위한 신호 흐름도를 나타낸 것으로 2000개의 16-QAM 또는 64-QAM의 Inphase와 Quadrature 성분을 발생시킨 후 이를 복소수 형태로 조합하여 송신 신호로 사용하였으며 그림 3의 특성을 갖는 통신 채널 계수와 convolution한 후 원하는 신호대 잡음비를 갖도록 잡음을 발생시켜 부가한 후 수신 신호를 얻었다. 이들 신호는 그림 1의 \mathbf{r}_k 에 해당하며 이를 이용하여 MMA와 S-MMA 알고리즘으로 처리한 후 복원된 신호로부터 등화기 성능을 나타내는 복원 정상도, 잔류 isi와 MD, SER을 계산하였다.

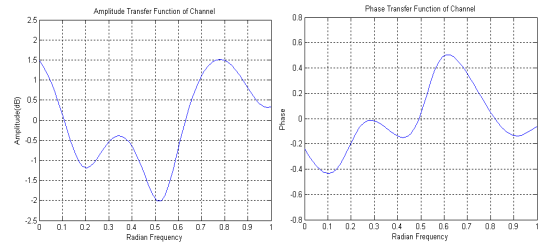


그림 3. 채널의 진폭과 위상 특성
Fig. 3. Amplitude & Phase Characteristics of channel

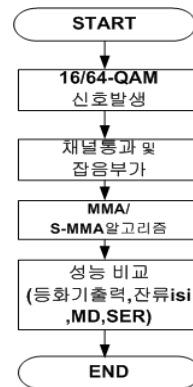


그림 4. 신호 처리도
Fig. 4. Flowdiagram of signal processing

그림 5는 16-QAM과 64-QAM의 송신 성상도 s_k 를 나타낸 것으로 16개의 64개의 신호점을 Inphase와 Quadrature 성분으로 나타낸 것이다. 이들 신호가 그림 3의 채널을 통과하고 신호대 잡음비 30dB가 되도록 잡음을 부가하여 수신된 신호 r_k 를 그림 6에 나타내었다. 수신 성상도에서는 채널에서 부가되는 부호간 간섭과 위상의 흔들림이 발생되어 신호점들을 구분할 수 없으며 이를 적응 등화기 MMA와 S-MMA의 입력 신호로 사용한다.

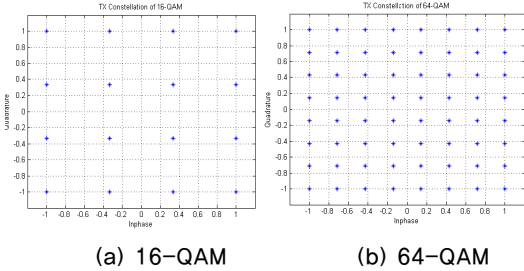


그림 5. 송신 신호 성상도
Fig. 5. Constellation of transmitted signal

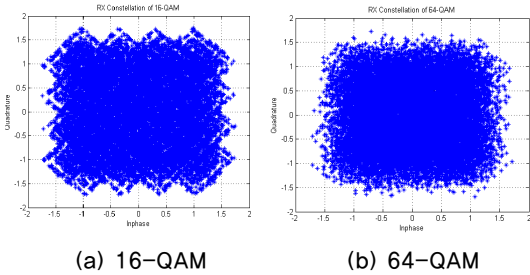
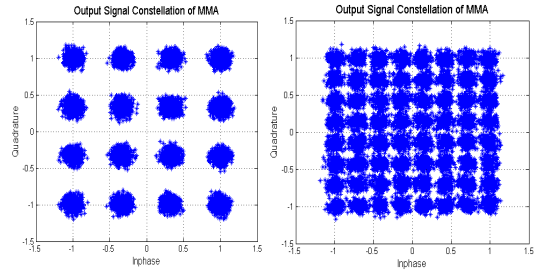
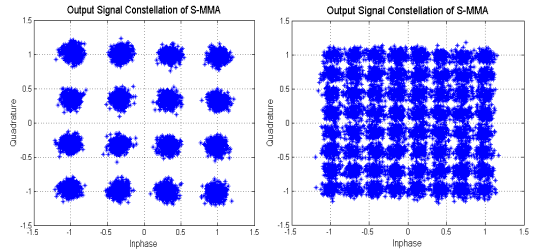


그림 6. 수신 신호 성상도
Fig. 6. Constellation of received signal

이들 신호를 MMA와 S-MMA 알고리즘을 적용할 때 등화기의 출력인 복원 신호를 그림 7에 나타냈다. 복원 성상도에서 MMA보다 S-MMA의 경우 신호점의 크기와 폭이 slice의 영향으로 축소되어진다. 이와 같은 신호점의 크기 축소는 증폭기를 사용하면 복원 가능하며 논문에서 증폭기 이득은 16-QAM은 1.65, 64-QAM은 1.32를 사용하였다. 이를 고려할 때 MMA가 S-MMA보다 우월함을 알 수 있다.



(a) 16-QAM (b) 64-QAM
(A) MMA



(a) 16-QAM (b) 64-QAM
(B) S-MMA

그림 7. 복원 성상도
Fig. 7. Recovered constellation

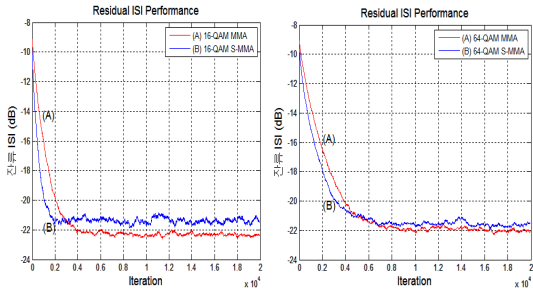
등화기 복원 성상도외에도 성능 비교를 위한 지수로 잔류 isi와 최대 찌그러짐 및 SER을 사용하였다. 먼저 잔류 isi와 Maximum Distortion 및 MSE는 다음과 같이 정의된다.

$$\text{잔류isi}_{\text{dB}} = 10 \log_{10} \left[\frac{\sum_i |h(k)*f(k)|^2 - |h(k)*f(k)|_{\text{max}}^2}{|h(k)*f(k)|_{\text{max}}^2} \right] \quad (12)$$

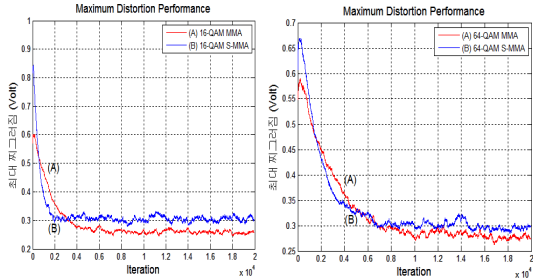
$$\text{MD}_{\text{volt}} = \left[\frac{\sum_i |h(k)*f(k)| - |h(k)*f(k)|_{\text{max}}}{|h(k)*f(k)|_{\text{max}}} \right]$$

$$\text{MSE} = E(|\hat{y}(k) - y(k)|^2)$$

이는 이상적인 등화기가 주파수 영역에서 식(1)의 조건을 만족해야 함은 시간 영역에서는 채널 계수와 등화기 계수의 convolution 결과는 임펄스 함수가 되어야 한다. 그러나 실제로는 이상적이지 못하므로 잔류 isi와 MD는 그들의 잔류 양과 찌그러짐 양을 각각 나타내며 이들은 적응 등화기의 수렴 속도를 나타내는데 사용되며 이를 그림 8에 나타내었다.



(a) 잔류 isi 성능



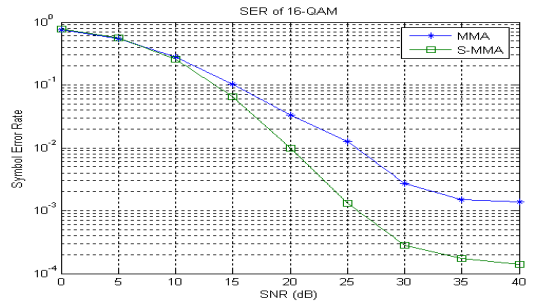
(b) MD 성능

그림 8. 잔류 isi 와 MD 성능
Fig. 8. Performance of residual isi & MD

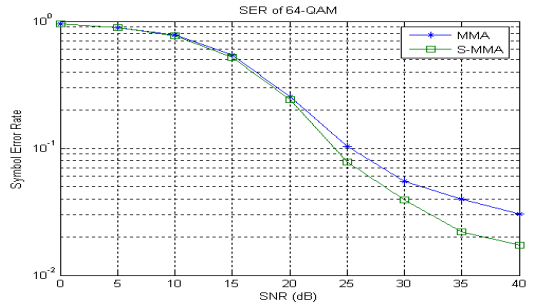
잔류 isi와 MD 성능에서 16-QAM은 MMA가 S-MMA보다 우월하지만 64-QAM의 경우 이들간의 차이가 적어 짐을 알 수 있다. 또한 QAM의 차수가 증가할수록 이들 방식의 수렴 시간이 길어지지만, S-MMA가 MMA보다 수렴 시간이 빠름을 그래프를 통해 알 수 있으며 이들의 정량적인 비교를 표 1에 나타내었다. 모든 지수에서 MMA가 S-MMA보다 우월함을 알 수 있으며, 마지막 성능 비교를 위한 지수로는 채널의 신호대 잡음비에 따른 SER을 그림 9에 나타내었다.

표 1. MMA와 S-MMA의 통계치
Table 1. Statistics of MMA & S-MMA

		MMA	S-MMA
16-QAM	잔류isi	평균 : 0.0090 분산 : 1.472e-4	평균 : 0.0109 분산 : 1.729e-4
	MD	평균 : 0.2874 분산 : 0.0043	평균 : 0.3312 분산 : 0.0051
64-QAM	잔류isi	평균 : 0.0122 분산 : 2.543e-4	평균 : 0.0138 분산 : 2.341e-4
	MD	평균 : 0.3243 분산 : 0.0057	평균 : 0.37 분산 : 0.0088



(a) 16-QAM



(b) 64-QAM

그림 9. SER 성능
Fig. 9. Performance of SER

이를 위하여 통신 채널에서 부가되는 신호대 잡음비를 0dB에서 40dB까지 변화시키면서 20000개의 송신 신호를 시뮬레이션을 수행한 후 이들의 평균값을 나타낸 것이다. 64-QAM이 16-QAM보다 오율 특성이 나쁘게 됨은 이미 알려져 있는 사실이지만, SER 성능에서 차수가 적을수록 높은 등화 이득을 얻을 수 있어서 SER이 10^{-2} 일때 약 5.1dB 정도가 됨을 알 수 있다. 또한 S-MMA가 MMA보다 개선된 SER 성능을 얻을 수 있어서 Roburstness가 강함을 알 수 있다. 그림 3과 같은 채널의 특성을 보상하기 위하여 블라인드 적응 등화기를 사용하게 되며, 그림 10은 16-QAM 에서 MMA와 S-MMA 알고리즘을 적용할 때 등화기의 진폭과 위상 전달 특성을 나타낸 것이다. 진폭 특성은 그림 3의 진폭 특성의 역 분포를 하고 있으며, 위상 특성은 주파수에 따른 기울기가 일정한 선형성을 가지게 되어 군지연이 최소화됨을 알 수 있다. 그러나 S-MMA의 진폭 전달 특성이 slice의 영향으로 적기 때문에 그림 7의 복원 정상도에서 증폭기를 사용하는 이유이다.

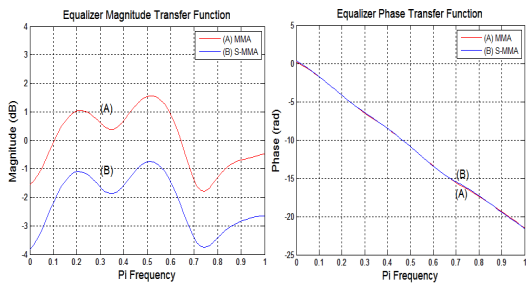


그림 10. MMA와 S-MMA의 진폭과 위상 특성
Fig. 10. Magnitude & Phase Characteristics of MMA & S-MMA

그림 3과 그림 12를 이용하면 채널과 등화기가 직렬 연결된 전체 시스템의 종합 특성을 얻을 수 있으며 이를 그림 13에 나타내었다. 진폭의 경우 최대와 최소 전달 이득이 0.8dB의 범위에서 2가지 방식들이 거의 유사하게 평탄해짐을 알 수 있지만, 진폭의 경우 S-MMA가 slice의 영향으로 전체 전달 이득이 감소됨을 알 수 있으며, 이는 그림 7에서 성장도의 축소 효과로 나타나므로 이에 대한 보완책으로 증폭기를 사용해야 한다. 반면 위상의 경우 두 알고리즘이 전 주파수에 걸쳐 기울기가 일정한 선형 특성을 가짐을 알 수 있다.

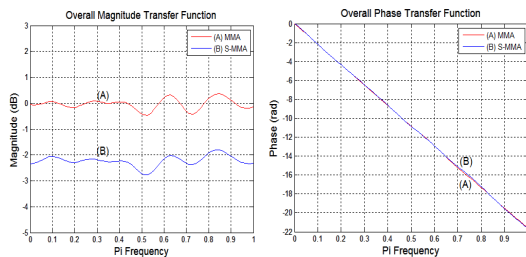


그림 11. 채널과 등화기의 종합 전달 특성
Fig. 11. Overall Transfer Function of Channel & Equalizer

V. 결론

논문에서는 시 분산 채널에서 발생하는 부호간 간섭의 영향을 최소화하기 위한 블라인드 적응 등화 알고리즘인 MMA와 S-MMA에 대한 성능을 비교하였다. 이들은 CMA 계열과 같이 송신 신호의 dispersion constant를 이용하여 수신 신호의 진폭과 위상을 보상할 수 있는 능력을 가지며, 특히 S-MMA는 MMA의 dispersion

constant에 결정 장치의 출력인 sliced output의 가중치를 이용한다. 이들 2 가지 알고리즘의 성능 비교를 위하여 송신 신호를 16, 64-QAM을 이용할 때 동일 채널을 통과한 후 등화기의 출력인 복원 정상도, 수렴 속도의 비교를 위하여 잔류 ISI와 MD 및 SER을 적용하였다. 비교 결과 복원 정상도는 slice를 적용하므로 S-MMA가 진폭이 축소되는 단점이 있으므로 적당한 이득의 증폭기를 사용하여야 한다. 또한 수렴 속도의 경우 공통적으로 QAM의 레벨수가 증가하면 속도가 늦어지지만, S-MMA가 MMA보다 빠름을 알 수 있었으며, 마지막 성능 비교 지수인 SER에서는 전체적으로 S-MMA가 MMA보다 우월하여 SER이 10^{-2} 일때 약 5.1dB 정도의 등화 이득을 얻을 수 있어서 Roburstness가 개선됨을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] J.Yang, J.J.Werner, G.A.Dumont, "The Multimodulus Blind Equalization and Its Generalized Algorithms", IEEE Journal on S.A. in Comm., Vol.20, No.5, pp. 997~1015, June 2002
- [2] J.Yang, J.J.Werner, G.A.Dumont, "The Multimodulus Multi-modulus Blind Equalization Algorithm", 13th Int. Conf. D.S.P. Processing, pp.127~130, 1997
- [3] S.A.Sheikh, P.Fan, "A New Multimodulus Blind Equalizer for Dense QAM Constellation", Int. Conf. on Wireless, Mobile & Multimedia Network, pp.1~4, 2006
- [4] S.Abrar, R.A.Axford, "Sliced Multi-modulus Blind Equalization Algorithm", ETRI Journal, Vol.27, No.3, pp.257~266, June 2005
- [5] S.G.Lim, "The Performance Comparison of the CMA and MMA Algorithm for Blind Adaptive Equalization", Journal of I.W.I.T., Vol.12, No.2, pp.153~158, 2012
- [6] S.G.Lim, "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, April 2012
- [7] R.A.Axford Jr., L.B.Milstein, J.R.Zeidler, "The Transversal and Lattice Multiple Modulus

Algorithms for Blind Equalization Of QAM Signals", Proc. IEEE MILCOM'95, pp.586~591, Vol.2, Nov. 1995

[8] W.A.Sethares, G.A.Rey, C.R.Johnson, "Approaches to Blind Equalization of Signals with Multiple Modulus", Proc. IEEE ICASSP, pp.972 ~ 975, 1989

※ 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 "기초연구사업 (No. 2010-0009957)"으로 수행된 연구결과의 일부를 게재한 것임.

저자 소개

강 대 수(정회원)



- 1983년 : 경희대학교 전자공학과 학사 졸업
- 1985년 : 경희대학교 전자공학과 석사 졸업
- 1992년 : 경희대학교 전자공학과 박사 졸업
- 2005년 ~ 현재 : 공주대학교정보통신

공학부 교수

<주관심분야 : 디지털통신, 이동통신, 인지신호처리>

임 승 각(정회원)



- 1983년 : 숭실대학교 전자공학과 학사 졸업
- 1985년 : 경희대학교 전자공학과 석사 졸업
- 1997년 : 경희대학교 전자공학과 박사 졸업
- 2005년 ~ 현재 : 공주대학교 정보통신

신 공학부 교수

<주관심분야 : 방송/통신 시스템, 이동통신>