

<http://dx.doi.org/10.7236/JIWIT.2012.12.2.159>

JIWIT 2012-2-20

자기 적응 등화를 위한 MMA와 SCA 알고리즘의 성능 비교

The Performance Comparison of the MMA and SCA Algorithm for Self Adaptive Equalization

임승각*

Seung-Gag Lim

요 약 본 논문에서는 통신 채널에서 발생하는 찌그러짐과 잡음의 영향을 최소화하기 위하여 사용되는 적응 등화 알고리즘인 MMA (Multi-Modulus Algorithm)와 SCA (Square Contour Algorithm)의 성능을 비교하였다. 송신 신호는 통신 채널의 진폭 전달 특성과 위상 전달 특성의 비선형성으로 인하여 찌그러져 수신될 것이므로 수신측에서 자기 적응 등화 방식을 사용하여 이들을 보상하는 것이 필요하게 된다. 자기 적응 등화 알고리즘에서는 Constant Modulus 가 중요한 의미를 가지는데, 이의 계산을 위하여 MMA는 송신 신호의 2차와 4차 의 고차 통계치를 이용하지만 SCA 는 2차 통계치만을 이용하는 Modulus를 이용하게 된다. 다른 알고리즘에 비해 간단한 연산으로 이들 2 가지의 전달 특성을 동시에 보상할 수 있는 알고리즘인 MMA와 SCA의 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 비교하였다. 이때 성능의 비교를 위하여 필수적인 복원 정상도, 잔류 isi양 및 MSE, SER을 사용하였으며, 성능의 비교 결과 송신 신호의 고차 통계치를 이용하는 MMA 방식이 MSE, SER,에서 저차 통계치를 이용하는 SCA 방식보다 우월하였으며 복원 정상도와 잔류 isi에서는 SCA가 MMA보다 우월함을 알 수 있었다.

Abstract This paper deals with the performance comparison of adaptive equalization algorithm, MMA and SCA, that is used for the minimization of the distortion and noise effect in the communication channel. The transmitting signal will be distorted and received due to the nonlinearities of magnitude and phase transfer characteristics of communication channel, the compensation of it by using the self adaptive equalizer. The constant modulus has important metric in the self adaptive equalizer, the MMA uses the 2nd and 4th high order statistics of transmitting signal, the SCA uses the 2nd order statistics of transmitting signal only in order to the calculation of it. We compared to the compensation performance of the MMA and SCA by the computer simulation that are possible to the compensation of the two kinds of transfer characteristics at same times by the relatively simple arithmetic operation. We used to the recovered constellation, residual isi and MSE, SER that are the essential index for the comparison of the adaptive equalizer. The result of performance comparison of algorithms, the MMA which uses the high order statistics of transmitting signal has good performance in the MSE and SER compared to the SCA which is using the low order statistics. But in the recovered constellation and residual isi, the SCA has a good than the MMA.

Key Words : MMA, SCA, Adaptive Equalization, residual isi, constellation dependent constant

*정회원, 공주대학교 정보통신공학부
접수일자 2012년 1월 10일, 수정완료 2012년 2월 28일
게재확정일자 2012년 4월 13일

Received: 10 January 2012 / Revised: 28 February 2012 /

Accepted: 13 April 2012

*Corresponding Author : sglim@kongju.ac.kr

Dept. of Information and Communication, Kongju

National University, Korea

I. 서 론

최근 정보 통신 기술의 급격한 발전으로 정보의 이용 형태가 다양화되면서 대역 제한 (Band Limited) 채널인 동축 케이블, DSL 및 무선 전파를 이용한 이동 통신 채널등을 통한 고속 디지털 데이터의 전송 수요가 증가되고 있다. 이와 같은 채널에서는 부호간 간섭 (ISI : InterSymbol Interference)과 잡음 및 간섭이라는 장애 요인들이 존재하므로 이들을 경감시키기 위하여 다이버시티, 스펙트럼 효율적인 신호 기법, MIMO등이 사용되고 있다. 특히 부호간 간섭은 전송 시스템의 throughput 및 송수신국간의 동기 이탈등의 직접적인 원인이 되며, 광대역의 대량 정보원을 고속으로 전송하는 경우 이의 영향이 급증하므로 이에 대한 대책으로 등화기(Equalizer)의 사용은 필수적이다^[1].

초기의 등화기는 전송 채널의 주파수 전달 특성을 아는 것이 중요하므로 통신의 개시 전에 송수신측이 서로 약정된 학습열 (Training Sequence)을 주고받은 후, 이를 이용하여 수신측에서 채널의 역주파수 전달 특성을 갖는 디지털 필터의 계수를 얻은 후 수신 신호는 이 등화 필터를 통과시켜 부호간 간섭을 경감시켰다. 이와 같이 통신 개시 전에 등화기의 계수를 설정한 후 종료 시까지 이를 고정시켜 사용하는 고정 등화기가 유선과 같은 시불변 채널에서 적용되었다. 그러나 통신 단말이 이동하거나 전파를 이용하는 경우 채널의 상태가 시간, 장소에 따라 변하는 시변 (Time Variant)의 경우 고정 등화기는 역효과를 줄 수 있으므로 등화용 디지털 필터의 계수를 변화시키는 적응 등화기 (Adaptive Equalizer)가 등장하여 널리 사용되고 있다. 그러나 적응 등화기의 경우 송신측에서 일정한 시간 간격마다 학습열을 전송해야 하므로 전송 효율을 저하시키는 Overhead가 있다. 이를 개선키 위하여 자기 적응 등화기가 등장하여 학습열 없이도 수신측에서 자체적으로 적응 등화를 수행하여 전송 효율과 통신 시스템의 throughput을 증대시켜 서비스 품질 (QoS : Quality of Service)를 개선시킬 수 있으므로 오늘날 널리 사용되고 있다. 현재 자기 적응 등화를 위한 알고리즘으로는 널리 사용되고 있는 것은 CMA (Constant Modulus Algorithm)가 있다. CMA의 경우 수신측에서 등화를 위한 알고리즘에는 송신측 신호에대한 2차와 4차의 고차 통계치를 이용하는 Contant Modulus가 이용된다. 그러나 CMA는 진폭만 등화 가능케되므로 이를 개선

하여 진폭과 위상의 등화가 가능하도록 MMA (Multi Modulus Algorithm)가 등장하였다^{[2][3][4]}. 이에비해 송신 신호의 2차 통계치 만으로도 진폭과 위상의 등화가 가능토록 Constellation Dependent Constant 또는 Dispersion Constant를 이용하는 SCA (Square Contour Algorithm)가 등장하였다^{[5][6]}. 이들 자기 적응 등화기에서는 출력 신호의 통계치가 Modulus에 매칭시키도록 등화 계수를 갱신하게 되는데, 이들 2 가지 알고리즘들은 다른 방식에 비해 비교적 간단한 연산으로 채널에 의한 진폭과 위상 찌그러짐을 동시에 보상할 수 있어서 이들에 의한 부호간 간섭을 최소화시킬 수 있는 능력을 갖고 있다. 본 논문에서는 주어진 통신 채널과 신호대 잡음비하에서 이들 2 가지의 자기 적응 등화 알고리즘 성능을 비교하였으며, 이를 위한 지수로는 잔류 isi와 MSE, SER 및 복원 성상도를 사용하였다. 2장에서는 기본적인 기저 대역 통신 시스템의 모델과 등화 알고리즘의 위치 및 역할을 소개한 후 MMA 및 SCA 알고리즘에 대해 설명한 후 3 장에서는 시뮬레이션 과정 및 결과를 다루고 마지막 5장에서는 결론을 내리겠다.

II. 본 론

1. 기저 대역 통신 시스템

그림 1은 적응 등화기를 사용하는 디지털 기저 대역 통신 시스템의 모델을 나타낸 것이다. 송신측에서는 CAP (Carrierless AM/PM) 이나 QAM (Quadrature Amplitude Modulation)과 같은 2차원 형태의 신호 s_k 를 송신하면 임펄스 응답이 h_k 인 통신 채널을 통과하면서 가우시안 잡음 n_k 가 부가되어 수신된다. 수신된 신호 r_k 는 응답이 f_k 인 등화기에 입력되어 진폭과 위상이 보상된 출력 신호 z_k 를 얻은 후 이 신호 z_k 는 결정 장치를 통과하면서 최종 복원 신호 \hat{s}_k 를 얻게 된다. 이때 등화기의 응답 f_k 는 출력 신호 z_k 와 \hat{s}_k 를 이용한 MMA 또는 SCA 알고리즘을 적용하며 이들은 비용 함수를 최소화시키도록 적응적으로 변화시킨다. 등화기는 일반적으로 탭의 개수가 유한하며 필터의 안정성 (Stability)이 보장되는 FIR 형태를 주로 사용한다^[8].

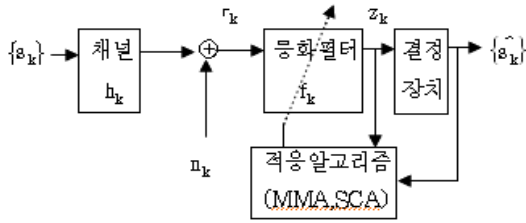


그림 1. 기저 대역 통신 시스템
Fig. 1. Baseband Communication System

2. MMA 알고리즘

그림 1에서 송신 복소 신호 s_k 는 임펄스 응답이 h_k 인 채널을 통과하며 이때 잡음 n_k 가 부가되어 수신되는 신호 r_k 는 다음과 같다.

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

여기서 \circledast 는 convolution을 나타내는 기호이다. 식 (1)의 신호는 유한 차수의 임펄스 응답 계수 f_k 를 갖는 등화 필터를 통하여 식(2)와 같은 출력 신호 z_k 를 얻으며 이를 결정 장치 (Decision Device)를 통해 복원된 \hat{s}_k 를 얻는다.

$$z_k = r_k * f_k \quad (2)$$

여기서 *는 convolution을 나타내며, 등화 필터의 출력에서 MSE (Mean Square Error)는 다음과 같이 정의되며 이때 convolution에 의한 지연 시간은 무시하자.

$$MSE = E\{|e_k|^2\} = E\{|z_k - \hat{s}_k|^2\} \quad (3)$$

적용 등화 알고리즘은 등화 필터 계수 f_k 에 대한 다음과 같이 정의되는 비용 함수 J 를 최소화시키도록 이를 SGA (Stochastic Gradient Algorithm)를 적용하여 반복시키며 MMA 알고리즘에서의 비용 함수는 식(4)와 같이 된다.

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

여기서 p 는 양의 정수로서 일반적으로 2를 사용하며 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 나타내며 R_{MMA}^p 는 p 차 dispersion constant 또는 multi modulus를 나타낸다. 식(4)의 MMA 비용 함수는 1차원적인 CMA 비용

함수를 2 개 더한 형태로 표시되므로 등화기 출력을 복소 평면에서 표시해보면 4개의 점 ($\pm R_{MMA} \pm j R_{MMA}$) 주위로 분포하게 된다. $p=2$ 인 MMA의 경우 오차 함수는 다음과 같다.

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

MMA의 오차 함수인 식 (5)는 복소수 값이 되어 등화기 출력에서 위상이 보상되어지며 이들을 이용하여 등화 필터의 계수는 다음과 같이 갱신되어진다. 여기서 μ 는 적응 스텝의 크기를 나타낸다.

$$f_{k+1} = f_k - \mu \overline{e_{kMMA}} r_k^* \quad (6)$$

3. SCA 알고리즘

일반적으로 CMA 알고리즘에서는 등화기 출력을 영-오차 윤곽선에서 반경 R_{CMA} 인 원주상에 위치하도록 등화기 계수를 조절하는 반면 MMA와 SCA 알고리즘에서는 그림2와 같이 square contour상에 위치하도록 등화기 계수를 조절한다. 이들 두 알고리즘의 오차 윤곽선은 거의 비슷하며 단지 그 Radius 값의 차이만이 있다. SCA 알고리즘에서 비용 함수는 다음의 식(7)과 같다.

$$J_{SCA} = E\{((|z_{kr} + z_{ki}| + |z_{kr} - z_{ki}|)^p - R_{SCA}^p)^2\} \quad (7)$$

여기서 p 는 양의 정수로서 MMA에서와 같이 2 이고 R_{SCA} 는 Constellation Dependent Constant 또는 Dispersion Constant라고도 하며

$$|z_{kr} + z_{ki}| + |z_{kr} - z_{ki}| = 2 \max\{|z_{kr}|, |z_{ki}|\} \\ \max\{|z_{kr}|, |z_{ki}|\} = \frac{R_{SCA}}{2} \quad (8)$$

는 원점으로부터 영-오차 윤곽선의 크기에 해당하며, 등화기의 탭 계수 갱신을 위한 오차 함수는 식(9)와 같다.

$$\overline{e_{kSCA}} = ((|z_{kr} + z_{ki}| + |z_{kr} - z_{ki}|)^p - R_{SCA}^p) (|z_{kr} + z_{ki}| + |z_{kr} - z_{ki}|)^{p-1} \\ \times (\text{sgn}[z_{kr} + z_{ki}](1+j) + \text{sgn}[z_{kr} - z_{ki}](1-j)) \quad (9)$$

상수 R_{SCA} 는 송신 신호가 Independent Identical Distribution이고 등화기 출력이 송신 심볼과 같아지는 ($z_k = s_k$) 완전 등화가 되는 정상 상태인 $E[\overline{e_k x_k^*}] = 0$ 로 설정하여 얻을 수 있게된다. 즉

$$R_{SCA}^p = \frac{E\{(|s_{kr} + s_{ki}| + |s_{kr} - s_{ki}|)^p \cdot Q\}}{E\{Q\}} \quad (10)$$

$$Q = (|s_{kr} + s_{ki}| + |s_{kr} - s_{ki}|)^{p-1} (\text{sgn}[s_{kr} + s_{ki}](1+j) + \text{sgn}[s_{kr} - s_{ki}](1-j))s_k^*$$

가 되며 식(9)의 오차 함수를 이용하여 SCA 알고리즘에서도 등화 필터의 계수를 갱신한다.

$$f_{k+1} = f_k - \mu \overline{e_{kSCA}} r_k^* \quad (11)$$

다음의 그림 2는 송신 신호가 16-QAM 인 경우 등화기 출력에서 MMA와 SCA 알고리즘의 zero error contour를 나타낸 것이다. MMA는 1변의 크기가 원점을 중심으로 R_{MMA} 이고 SCA는 $R_{SCA}/2$ 로 크기 만 다른 뿐 직사각형 주위로 임의의 출력 신호점 z_k 를 얻으면 x, y 방향 (복소수) 으로 오차 신호의 크기와 위상을 얻을 수 있는 공통점이 있다. 이들을 이용하여 식(8)과 같이 오차를 줄이도록 등화기의 계수를 update시키도록 CMA와 MMA 알고리즘을 반복 수행된다.

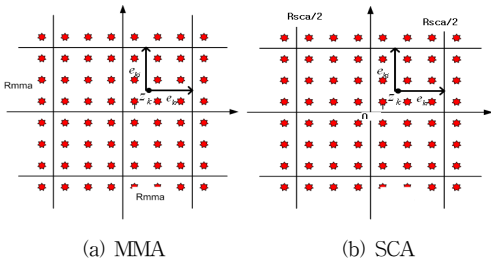


그림 2. 알고리즘의 영-오차 윤곽선
Fig. 2. Zero-error contour of algorithms

III. 컴퓨터 시뮬레이션

MMA와 SCA 자기 적응 등화 알고리즘의 성능 분석을 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션에서는 동일하게 신호대 잡음비를 30dB, 적응 스텝 크기 μ 는 MMA 에서는 0.0015, SCA 에서는 0.005로 설정하였고 등화기용 적응 필터의 차수는 17차 FIR로 설정하였다. 송신 복소 신호로는 16-QAM 신호를 발생시킨 후 표 1의 계수를 갖는 통신 채널을 통과시켜 수신 신호 r_k 을 얻었다. 이때 채널에서 부가되는 잡음 n_k 는 신호대 잡음비를 고려하여 잡음 신호가 신호 전력에 따른 상대적인 진폭을 갖도록 발생시켰으며 그림 3은 시뮬레이션을 위한 신호 처리 과정을 나타낸 것이다. 송신 신호는 표 1의

채널을 통과한 후 SNR에 따른 잡음 전력을 갖도록 가우시안 잡음을 부가한 후 수신측의 적응 등화 필터의 입력 신호로 사용하였으며, 등화 필터의 계수를 갱신시키기 위하여 MMA 알고리즘에서는 식(6), SCA 알고리즘에서는 식(10) 을 적용하여 등화기의 계수 f_k 를 적응적으로 변화시켰다.



그림 3. 신호 처리 흐름도
Fig. 3. Signal Processing Flowdiagram

표 1. 통신 채널의 계수

Table 1. Coefficient of communication channel

h(0)	1.0	h(1)	0.0
h(2)	0.2295-j0.1933	h(3)	0.0
h(4)	0.0	h(5)	0.1393-j0.1435

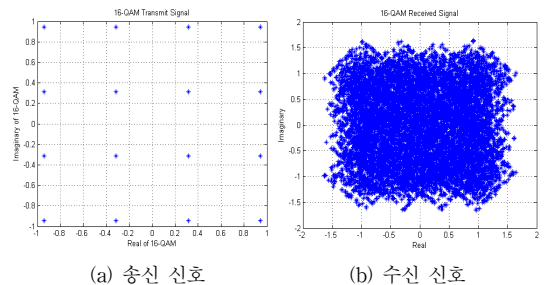


그림 4. 송신 신호와 수신 신호
Fig. 4. Transmit and Received signal

그림 4는 송신된 16-QAM 신호와 신호대 잡음비 30dB 인 경우 채널을 통과하여 수신된 신호의 성상도를

나타낸 것이다. 수신 신호의 정상도에서는 송신 신호의 16개 심볼점들이 채널을 통과한 후 잡음이 부가되어 수신되면 이들 간에 부호간 간섭과 랜덤 잡음에 의해 구별이 어려울 정도로 채널에 의한 찌그러짐이 발생되었으며 이를 등화 알고리즘의 입력 신호로 사용하였다.

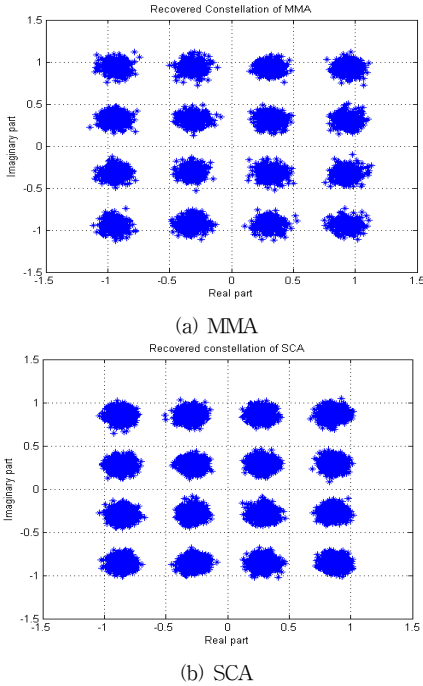


그림 5. 복원 신호 정상도
Fig. 5. Recovered signal constellation

그림 5는 그림 4 (b)의 수신 신호를 MMA와 SCA 알고리즘의 등화기 입력으로 인가할 때 복원된 신호 정상도를 나타낸 것이며 이때 적응 스텝 크기는 각각 0.0015와 0.005이었다. 2가지의 알고리즘 모두 진폭과 위상이 복원된 등화기 출력을 가짐을 알 수 있으며, 16개의 신호점의 폭이 SCA가 MMA 보다 적게 되어 진폭에 대한 보상 성능이 더욱 우월함을 알 수 있다.

자기 적응 등화기의 성능을 나타내는 지표로는 잔류 isi (Residual isi)와 MSE를 사용하였다. 먼저 잔류 isi는 통신 채널 h_k 와 등화 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 불가능해 되어 임펄스 성분을 제외한 나머지 잔류 성분들의 크기를 나타내며 다음과 같이 정의된다.

$$\text{잔류 isi}_{dB} = 10 * \log_{10} \frac{\sum |h_k \infty f_k|^2 - |h_k \infty f_{k \max}|^2}{|h_k \infty f_{k \max}|^2} \quad (12)$$

또한 MSE는 송신 신호 s_k 와 등화기 출력 신호 z_k 의 차이의 자승치를 나타낸 것으로 다음과 같이 정의된다.

$$\text{MSE}_{dB} = 10 \log_{10} [s_k - z_k]^2 \quad (13)$$

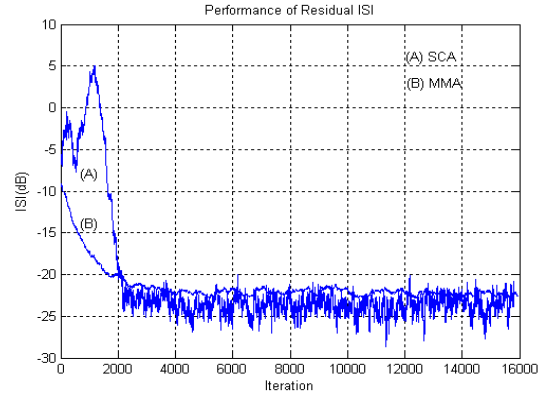


그림 6. 잔류 isi
Fig. 6. Residual isi

그림 6은 첫 번째 성능 평가 지수인 식(12)의 잔류 isi를 16000회 반복 수행시킬 때 SCA와 MMA 알고리즘의 결과를 나타낸 것이다. 초기의 2000회 정도의 구간에서는 MMA가 SCA보다 안정되게 빠른 수렴 특성을 가짐을 알 수 있으며, 이후부터는 SCA가 MMA 보다 적은 잔류 isi양을 가지지만 미세한 변화가 있지만 정상 상태 이후부터는 우월한 채널의 진폭 찌그러짐을 보상할 수 있음을 알 수 있다.

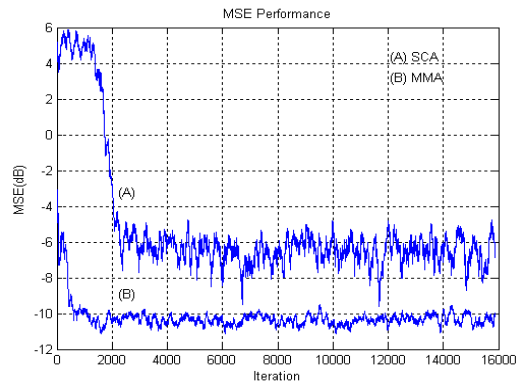


그림 7. MSE
Fig. 7. Mean Square Error

그림 7은 마지막 성능 평가 지수인 식(13)의 MSE 분포를 16000회 반복 수행시킬 때의 결과를 나타낸 것이다. 전체적인 MSE 분포에서는 MMA가 SCA보다 평균 -6dB 정도 우월하며 매우 빠른 수렴 속도를 얻을 수 있다. 이는 MMA 알고리즘에서는 Constant Modulus가 식(4)와 같이 송신 신호의 2차와 4차의 고차 통계치를 기반으로 계산되지만, SCA 알고리즘에서는 식(10)과 같이 송신 신호의 2차 통계치를 기반으로 계산되어지기 때문이다.

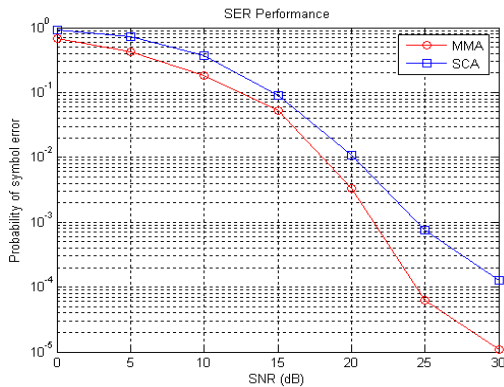


그림 8. SER 성능
Fig. 8. SER Performance

그림 8은 성능 평가 지수인 신호대 잡음비에따른 SER (Symbol Error Rate)의 분포를 나타낸 것이다. 신호대 잡음비는 0에서 5dB 단위로 30dB까지 변화시키면서 16000 개의 심볼을 10회 전송할 때의 오류 발생 확률을 계산하였으며, 송신 신호의 고차 통계치를 이용하는 MMA 알고리즘이 저차 통계치를 이용하는 SCA 알고리즘보다 우월함을 알 수 있다. 이는 그림 6과 7의 성능 지수에서 확인되었던 사실과 일치함을 알 수 있다.

V. 결론

논문에서는 대역 제한과 다중 경로 통신 채널에서 발생하는 진폭과 위상 찌그러짐 및 백색 잡음의 영향을 보상하여 부호간 간섭을 최소화하기 위한 자기 적응 적응 등화 알고리즘인 MMA와 SCA에 대한 성능을 비교하였다.

이들 방식의 차이로는 MMA는 수신측에서 송신 신호의 2차와 4차 고차 통계치의 비인 Constant Modulus를 이용하여 보상하며, SCA는 송신 신호의 2차 통계치만을 이용한 Constellation Dependent Constant를 이용한다는

점이다. 고속, 광대역화의 특성을 갖는 최근의 디지털 전송 기술을 고려할 때 저차의 통계치 만으로도 진폭과 위상의 보상 가능성 및 그 성능을 확인하였다. 이를 위해 16-QAM을 송신 신호로 사용하였으며 성능을 비교하기 위하여 복원 신호 정상도와 잔류 isi 및 MSE, SER을 적용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과 2 가지 알고리즘 모두 진폭과 위상의 복원이 가능하지만, 성능 비교 결과 MSE, SER에서 MMA 알고리즘이 SCA 알고리즘보다 우월하였으며, 복원 신호 정상도와 잔류isi에서는 SCA 알고리즘이 MMA 알고리즘보다 우월함을 알 수 있었다. 그러나 2차 통계치만으로 채널에 의한 부호간 간섭을 보상할 수 있는 SCA 알고리즘이 향후 고속, 광대역의 양방향성과 실시간 트래픽 전송 등 다양한 무선 전송 응용 분야에 적용될 때 MMA 보다 유용함을 확인할 수 있었다. 이를 위해서는 현재의 SCA 알고리즘의 성능을 CMA, MMA 알고리즘 수준까지 향상시킬 수 있는 새로운 알고리즘이 필요할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] D.N.Godard, "Self-recovering Equalization and carrier tracking in two-dimensional data communication system", IEEE Trans. on Comm., Vol. 28, pp.1867~1875, Nov. 1980
- [2] 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
- [3] J.Yang, J.J.Werner, G.A.Dumont, "The Multimodulus Blind Equalization Algorithm", 13th International Conference on D.S.P Proceeding Vol.1, pp.127~130, 1997
- [4] S.A.Sheikh, P.Fan, "A New Multimodulus Blind Equalizer for Dense QAM Constellation", International Conference on Wireless, Mobile and Multimedia networks, pp.1~4, 2006
- [5] T.Thaiupathump, L.He, S.A.Kassam, "Square contour algorithm for blind equalization of QAM signal", Signal Processing 86, pp.3357~3370, 2006

- [6] T.Thaiupathump, S.A.Kassam, "Suare contour algorithm: A New Algorithm for blind Equalization & Carrier Phase Recovery", Proc. IEEE Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, pp.647~651, 2003
- [7] X.L.Li, W.J.Zeng, "Performance Analysis and Adaptive Newton Algorithms of Multimodulus Blind Equalization Criterion", Signal Processing, Vol. 89, pp.2263~2273, Nov. 2009
- [8] S.G.Lim, "The Performance Comparison of CR-CMA and CM-CMA Adaptive Equalization in 16-QAM Signal", Journal of I.W.I.T., Vol. 11, No.3, pp.115~121, June 2011
- [9] Shafayat Abrar, Roy A.Axford, "Sliced Multi-Modulus Blind Equalization Algorithm", ETRI Journal, Vol.27, No.3, pp.257~266, June 2005
- [10] 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, Vol.2, pp.586~591, Nov.1995

저자 소개

임 승 각(정회원)



- 1983년 숭실대학교 전자공학과 학사 졸업.
- 1985년 경희대학교 전자공학과 석사 졸업.
- 1997년 경희대학교 전자공학과 박사 졸업
- 2005년 현재 공주대학교 정보통신공

학부 교수.

<주관심분야 : 방송/통신 시스템, 이동통신>