

<http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2013.13.3.55>

JIIBC 2013-3-8

16-QAM 신호에서 Slice 가중치에 의한 S-MMA 적응 등화 알고리즘의 성능 비교

Performance Comparison of S-MMA Adaptive Equalization Algorithm by Slice Weighting Value in 16-QAM Signal

임승각*

Seung-Gag Lim

요약 본 논문에서는 통신 채널에서 발생하는 찌그러짐과 잡음의 영향을 최소화하기 위하여 사용되는 S-MMA 적응 등화 알고리즘에서 Slice 가중치에 따른 성능을 비교하였다. 기존의 MMA 알고리즘에서는 등화기의 출력 신호와 송신 신호의 dispersion 상수만을 이용하지만, S-MMA에서는 등화기 출력 신호와 dispersion 상수외에 결정 장치의 출력 신호를 slice 상수만큼 고려하여 채널의 진폭과 위상 찌그러짐을 동시에 보상할 수 있다. 이때 slice 가중치가 적응 등화 알고리즘의 성능에 미치는 영향을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 확인하며, 성능 지수로는 등화기 출력 신호 성상도, 수렴 특성을 나타내는 잔류 isi, 최대 찌그러짐, MSE와 채널의 신호대 잡음비에 따른 SER을 사용하였다. 시뮬레이션 결과 slice 가중치가 적으면 잔류isi, 최대 찌그러짐과 MSE 성능이 우월하며, 가중치가 큰 경우 SER 성능이 우월함을 확인하였다.

Abstract This paper compare the performance of S-MMA(Sliced-MultiModulus Algorithm) adaptive equalization algorithm by effect of slice weighting value for the minimization of the distortion and noise in the communication channel.. In the traditional MMA algorithm, the output signal of equalizer and the dispersion constant of transmitting signal is used for calculating the equalizer coefficient, but in S-MMA, the output of equalizer and dispersion constant and the considering the output of decision device by the power of slice constant are used in order to simultaneously compensate the distortion of amplitude and phase distortion. It is confirmed by computer simulation that the slice weighting value affects the performance of adaptive equalization algorithm. The performance index includes the output signal constellation, the residual isi and maximum distortion and MSE that is for the convergence characteristics, the SER according to the signal and noise power ratio at the channel is used. As a result of simulation, the residual isi, maximum distortion and MSE performances are better in the small weighting values. But in SER performance is better in the large weighting values.

Key Words : S-MMA, Adaptive Equalization, Residual isi, Maximum Distortion, dispersion constant

*정회원, 공주대학교 정보통신공학부 정보통신공학
접수일자 : 2013년 2월 25일, 수정완료 : 2013년 5월 7일
게재확정일자 : 2013년 6월 14일

Received: 25 February 2013 / Revised: 7 May 2013 /

Accepted: 14 June 2013

*Corresponding Author: sglim@kongju.ac.kr

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

I. 서 론

최근 정보 통신 서비스의 고속화, 다양화 추세에 따라 디지털 정보의 전송 수효가 급증하고 있는 실정이다. 통신 서비스를 위하여 단말 기술, 중계 및 교환 기술, 전송 기술이 필요하며 이 중에서 전송 기술이 가장 느리게 변화하고 있는 실정이다. 전송 기술 중에서 통신망과 단말 동기 기술을 어느 정도 확보되어 있으나 유선과 무선의 대역 제한 채널과 다중 경로 채널을 경유하는 기술이 전체적인 통신 시스템의 성능을 결정짓는 주요한 요인이 되고 있다. 채널은 유무형의 실체를 통하여 디지털 부호의 전송이 이루어지며 이때 부호의 찌그러짐(distortion) 이나 간섭을 일으키게 된다. 과거 아날로그 유선 전송의 시불변 채널에서는 장하 코일 (loading coil)을 사용하여 이를 보상하였지만, 디지털 전송에서는 이의 영향을 최소화하기 위한 송수신 필터를 사용하여 디지털 부호의 스펙트럼을 가능한 한 좁게 하거나, 특히 이동 통신과 같이 대역 제한 특성과 다중 경로(multipath) 채널의 환경에서 복수개의 신호가 서로 다른 지연 시간을 갖고 수신기에 도달할 때 인접 부호간 발생되는 간섭을 제거시키기 위하여 별도의 등화기(equalizer)를 사용하여야 한다^{[1][2]}. 등화기는 채널 임펄스 응답의 역 특성을 갖는 디지털 필터를 말하며, 이를 정확하게 알기 위해서는 송수신국간 상호 약정된 training sequence를 통신 개시 전과 통신 중에 일정 시간 간격으로 이를 반복하므로써 전송 overhead를 갖는 trained 방식과 overhead를 제거하고 수신되는 신호에서 이를 얻어낼 수 있는 blind 방식의 2 가지로 대별된다. 최근에는 채널이 시불변(time invariant) 뿐만 아니라 시변(time varying) 인 경우에도 overhead가 없는 blind 방식이 전송 효율과 통신 시스템의 throughput을 증대시켜 서비스 품질을 개선시킬 수 있으므로 널리 사용되고 있으나, 이의 성능은 trained 방식에 비해 저하된다^[3]. blind 등화를 위한 적응 알고리즘으로는 수신 신호의 4차원 상관을 이용하는 tricepstrum 기반 고차 통계치(HOS : High Order Statistics) 계열과 CMA(Constant Modulus Algorithm) 계열로 나눌 수 있다. 전자의 경우 4차원 상관을 얻기 위하여 많은 연산량이 필요하므로 고속 전송에서 실시간 응용이 어렵지만 어떠한 통신 채널 환경에서도 수신 신호의 진폭과 위상 보상이 보장되는 global convergence 특성을 갖고 있다

^{[3][4]}. 그러나 후자의 경우 비교적 간단한 연산량으로 실시간 응용이 가능하지만 수신 신호의 진폭만 보상되며 위상의 보상이 불가능하여 PLL과 같은 별도의 장치를 이용하여야 한다. 최근에는 CMA의 이런 문제를 해결하기 위해 다양한 알고리즘이 등장하고 있으며 대표적으로 MMA(Multi-Modulus Algorithm)를 들 수 있다. MMA에서는 등화를 위한 비용 함수 또는 오차 함수가 복소수의 진폭과 위상 함수로 표현되며 등화기 출력 신호의 정상도에서 이들을 동시에 보상할 수 있게 되며 등화기의 출력 전력에 따라 각 신호 정상도 점에 대해 modulus를 multiple로 할당한다^{[4][5][6]}. 그러나 등화기 성능에서 CMA보다 열악하거나 정상 상태에서 misadjustment에 의한 등화 잡음이 큰 단점이 있으므로 이를 개선기 위해 S-MMA가 등장하였다. S-MMA에서는 CMA, MMA에 사용되는 dispersion constant에 결정 장치의 출력 신호(sliced output)를 slice 가중치만큼 고려하고 있다. 이렇게 하여 등화기 출력의 실수와 허수부가 인접 심볼의 실수와 허수부의 절대치의 가중 contour에 매핑시킬 수 있게 된다^[7].

본 논문에서는 이와 같은 S-MMA 적응 등화 알고리즘에서 slice 가중치값이 알고리즘의 성능에 미치는 영향을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 확인하였으며, 이의 값으로는 0.4와 0.8을 적용하였다. 이를 위한 성능 지수로는 등화기 출력 신호, 잔류 ISI와 최대 찌그러짐, MSE 및 SER을 사용하였다. 2 장에서는 적응 등화기를 적용한 기저 대역 통신 시스템의 모델을 설명한 후 3 장에서는 S-MMA 알고리즘을 다룬다. 4 장에서는 시뮬레이션의 결과를 제시한 후 5 장에서는 결론을 내리겠다.

II. 본 론

1. 기저 대역 통신 시스템 모델

그림 1은 적응 등화기를 사용하는 기저 대역 통신 수신 시스템의 기능적 모델을 나타낸 것이며, 여기서 변조와 복조기는 이상적으로 동작한다고 가정하였다. 송신측에서는 CAP(Carrierless AM/PM), PAM(Pulse Amplitude Modulation), QAM(Quadrature Amplitude Modulation)과 같은 constant modulus를 갖는 복소 형태의 신호 I_k 를 송신하면 대역 제한과 페이딩을 갖는 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 채널에의해 발생하는 찌그러짐을 보상하여 z_k 를 얻게 된다. 이 출력 신호는 결정 장치(Decision Device)를 통과하면서 송신 신호 s_k 의 추정치인 \hat{I}_k 를 얻게 된다. $I_k \approx \hat{I}_k$ 가 되기 위한 등화기의 응답 f_k 는 출력 신호 z_k 또는 결정 장치의 출력 \hat{I}_k 를 이용한 적응 등화 알고리즘을 적용하여 매 순간 변화시키게 된다. 이때 등화기필터는 필터의 안정성이 보장되는 FIR (Finite Impulse Response)을 사용하며 차수도 10~20차 정도면 충분하다.

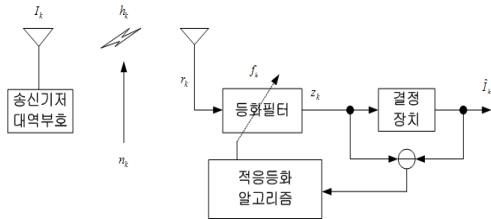


그림 1. 기저 대역 통신 시스템
Fig. 1. Baseband communication system

2. MMA와 S-MMA 알고리즘

그림 1의 시스템에서 송신 복소 신호 I_k 는 임펄스 응답 h_k 인 채널을 통과하면서 잡음 n_k 가 부가되어 수신되는 신호 r_k 는 다음과 같다.

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

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{I}_k 를 얻는다.

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

적응 등화 알고리즘은 등화 필터 계수 f_k 에 대한 특정 비용 함수 J를 최소화시키도록 SGA (Stochastic Gradient Algorithm)를 적용하여 반복시킨다. 여기서 비용 함수는 적응 등화 알고리즘에 따라 상이하게 되며

MMA에서는 식(3)과 같이 정의된다.

$$J_{MMA} = E\{(|z_{kr}|^p - R_{MMA}^p)^2 + (|z_{ki}|^p - R_{MMA}^p)^2 \} \quad (3)$$

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

여기서 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 나타내며 R_{MMA}^p 는 p차 Multi Modulus 또는 p차 dispersion constant를 나타낸다. 식(3)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=2인 MMA의 경우 오차 함수는 다음과 같다.

$$\overline{e_{kMMA}} = z_{kr} (|z_{kr}|^2 - R_{MMA}^2) + j z_{ki} (|z_{ki}|^2 - R_{MMA}^2) \quad (4)$$

MMA의 오차 함수인 식(4)는 복소수 값이 되어 등화기 출력에서 위상이 보상되어지며 이들을 이용하여 등화 필터의 계수는 다음과 같이 갱신되어진다. 여기서 μ 는 적응 스텝의 크기를 나타낸다.

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

그러나 S-MMA는 기존 MMA의 dispersion constant에 결정 장치의 출력 \hat{I}_{kr} , \hat{I}_{ki} 의 절대치를 적절하게 가중치를 취하여 얻어지며, 이 가중치를 slice 상수라고 부른다. 즉 같은 값을 갖는 $|\hat{I}_{kr}|$ 나 $|\hat{I}_{ki}|$ 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 $|I_k|^c R_{MMA}$ 를 이용하여 출력 z_k 는 인접한 modulus에 mapping되어 해당되는 오차 신호를 얻게 된다. sliced dispersion constant는 $|I_k|^c$ 의 값에 따라 R_{MMA} 보다 크거나 작게 설정되어 진다. 이와 같은 S-MMA의 비용 함수는 다음과 같이 정의된다.

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

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

$$e_{ksmma} = z_{kr} (|z_{kr}|^2 - |\hat{I}_{kr}|^c R_{MMA}^2) + j z_{ki} (|z_{ki}|^2 - |\hat{I}_{ki}|^c R_{MMA}^2) \quad (7)$$

$$f_{k+1} = f_k - \mu e_{ksmma} r_k^*$$

S-MMA의 등화기 출력 z_{kr}, z_{ki} 는 $\text{sign}[z_{kr} \sqrt{|\hat{I}_{kr}|^c R_{MMA}^2}]$ 와 $\text{sign}[z_{ki} \sqrt{|\hat{I}_{ki}|^c R_{MMA}^2}]$ 의 point contour에 존재하도록 탭 계수를 갱신하게 된다.

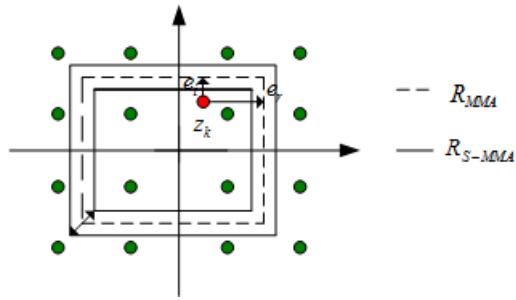


그림 2. S-MMA 알고리즘의 영-오차 윤곽선
Fig. 2. Zero-error contour of S-MMA algorithms

S-MMA는 MMA보다 misadjustment의 영향을 줄이기 위해 등장하였다. misadjustment는 적응 필터가 최적치에 도달한 경우에도 스텝의 크기에 의해 최적치 주위에서 요동하는 현상으로 등화 잡음의 원인이 된다. 이를 줄이기 위해서는 스텝의 크기를 적게 하면 되지만 이는 수렴 속도와 관계가 있으므로 다음과 같이 정의되는 2 가지 misadjustment metric을 최소화하도록 비용 함수에 고려하고 있으며 QAM 신호의 대칭 특성 $E[|I_{kr}|^p] = E[|I_{ki}|^p]$ 을 이용하면 다음과 같다^[7].

$$\gamma_1 = E[|I_{kr}|^2 \cdot I_{kr}^2 (I_{kr}^2 - R_{MMA})^2] \quad (8)$$

$$\gamma_2 = E[|I_{kr}|^2] \cdot E[I_{kr}^2 (I_{kr}^2 - R_{MMA})^2]$$

그림 3은 S-MMA의 구조를 나타낸 것이며, 결정 장치의 출력 신호를 적절하게 slice 가중치를 취하는 부분과 이로 인하여 등화기 출력이 적어지는 부분을 보정하기 위한 증폭기가 사용되고 있으며, 이는 MMA 등화기에서는 없는 구조이다.

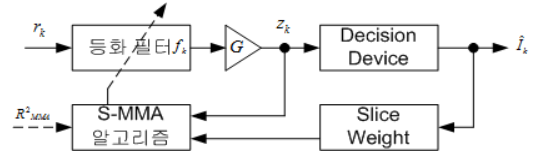


그림 3. S-MMA 등화기 구조
Fig. 3. Structure of S-MMA equalizer

III. 컴퓨터 시뮬레이션

S-MMA 적응 등화 알고리즘에서 slice 가중치값이 성능에 미치는 영향을 분석하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션에서는 신호대 잡음비를 30dB, 적응 스텝 크기 μ 는 0.0015, 등화기의 적응 필터 차수는 15차 FIR로 설정하였고, 송신 신호로는 16-QAM을 이용하였다. 이 신호는 통신 채널을 통과시킨 후 원하는 신호대 잡음비를 갖는 잡음 n_k 를 부가한 후 수신 신호 r_k 을 얻었다. 그림 4는 시뮬레이션을 위한 신호 처리 과정을 나타낸 것이며, 그림 5는 통신 채널의 진폭 전달 특성과 위상 전달 특성을 나타낸 것이다. 진폭의 경우 전달량이 3.5dB의 변동폭을 가짐을 알 수 있으며, 위상의 경우 기울기가 일정하지 않은 군지연 (Group Delay)가 발생됨을 알 수 있다.

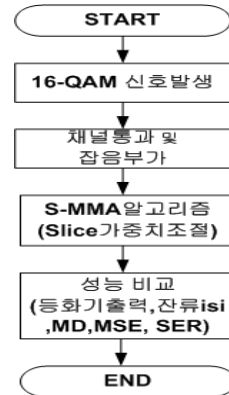


그림 4. 신호 처리 흐름도
Fig. 4. Signal processing flowdiagram

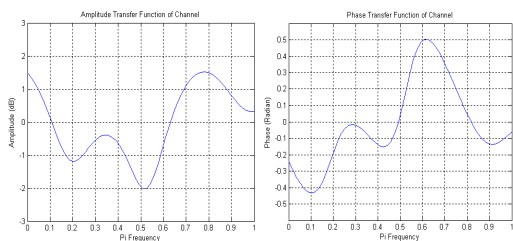
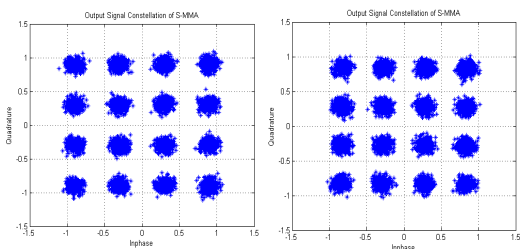


그림 5. 채널의 주파수 전달 특성
Fig. 5. Frequency transfer function of channel

그림 6은 이와 같은 시뮬레이션 환경에서 처리된 적응 등화기의 첫 번째 성능 지수인 등화기 출력 신호 성상도를 slice 가중치값이 0.4와 0.8일 때 나타낸 것이다. 두 개의 성상도에서 가중치가 클수록 slice 영향이 커져 전체 신호점간의 거리가 좁아져서 축소되어지므로 더 큰 이득 G의 증폭기가 필요하며, 각 신호점의 폭이 커짐을 알 수 있다. 여기서 신호점의 폭이 커진다는 것은 등화기의 진폭 보상 능력이 저하됨을 의미한다.



(a) c=0.4 (b) c=0.8
그림 5. 등화기 출력 신호 성상도
Fig. 5. Equalizer output signal constellation

적응 등화기의 성능을 나타내는 나머지 지수로 잔류 isi (Residual isi)와 최대 찌그러짐 (Maximum Distortion)과 MSE를 사용하였다. 잔류 isi는 통신 채널 h_k 와 등화 필터 계수 f_k 가 완전 보상이 될 때 시간 영역에서는 임펄스 신호가 된다. 그러나 완전 보상은 불가능케 되어 임펄스 성분을 제외한 나머지 잔류 성분들의 크기를 나타낸다. 최대 찌그러짐은 출력 신호에서 각 신호점들의 폭을 나타낸다. 이들은 다음과 같이 정의된다.

$$\text{잔류 isi}_{dB} = 10 * \log_{10} \frac{\sum |h_k \infty f_k|^2 - |h_k \infty f_{k \max}|^2}{|h_k \infty f_{k \max}|^2} \quad (9)$$

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

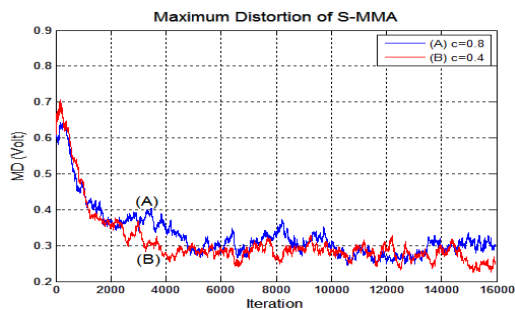


그림 6. 잔류 isi 성능
Fig. 6. Residual isi performance

잔류 isi에서는 두 가지 모두 양호한 수렴 특성을 가짐을 알 수 있지만, -20dB의 정상 상태에 도달하는데 slice 가중치 c=0.4인 경우 2335회, c=0.8인 경우 3033회의 연산이 필요하게 되어 수렴 속도에서는 가중치가 적을수록 빠름을 알 수 있으며, 정상 상태 이후 잔류 isi양에서도 적응을 알 수 있다. 그림 7과 8은 최대 찌그러짐과 MSE를 나타낸 것으로 두 가지 모두 양호한 수렴 특성을 가지며, 여기서도 slice 가중치가 적은 경우 더욱 안정됨을 알 수 있다. MSE를 위하여 이득 G의 값으로 0.4인 경우 1.15, 0.8 인 경우 1.65를 사용하였다.

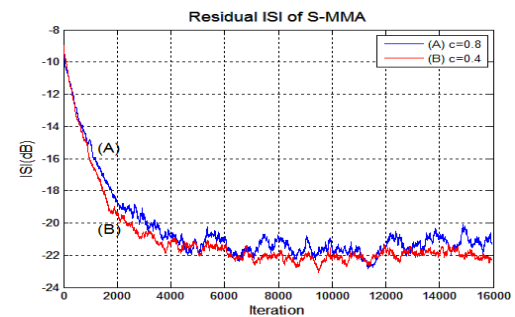


그림 7. 최대 찌그러짐 성능
Fig. 7. Maximum distortion performance

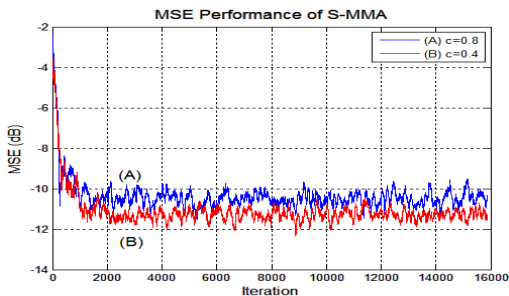


그림 8. MSE 성능
Fig. 8. MSE performance

그림 6, 7, 8의 성능 비교 결과 slice 가중치가 적을수록 적은 잔류 isi 및 빠른 수렴 속도, 적은 최대 찌그러짐 및 MSE가 확인되어 양호한 등화 성능을 얻을 수 있음을 알 수 있었으며, 이들의 통계적인 정량값을 표 1에 나타내었다.

표 1. 잔류 isi, 최대 찌그러짐 및 MSE의 통계치
Table 1. Statistics of residual isi, MD & MSE

slice 가중치 c=0.4	잔류isi	평균 : 0.0104
		분산 : 1.8864e-4
	최대찌그러짐	평균 : 0.3098
		분산 : 0.0066
MSE	평균 : 0.0796	
	분산 : 8.5742e-4	
slice 가중치 c=0.8	잔류isi	평균 : 0.0116
		분산 : 1.8236e-4
	최대찌그러짐	평균 : 0.3292
		분산 : 0.0052
	MSE	평균 : 0.0939
		분산 : 0.0010

그림 9는 채널의 신호대 잡음비에 따른 심볼 오류율 (SER : Symbol Error Rate)을 나타낸 것이다. 신호대 잡음비는 0~30dB 까지 5dB 단위로 변화시키면서 오류율을 계산하였다. 신호대 잡음비가 낮은 0~10dB 정도에서는 slice 가중치와는 무관하게 비슷한 분포를 보이지만, 그 이상의 신호대 잡음비에서는 slice 가중치의 값이 큰 0.8의 경우가 0.4보다 우월함을 알 수 있다. 즉 신호대 잡음비가 증가할수록 잔류isi, 최대 찌그러짐, MSE 성능과는 달리 가중치의 값이 클수록 개선된 SER 성능을 얻을 수 있어서 심볼 오류율이 10^{-3} 의 경우 2.5dB, 10^{-4} 의 경우 약 5dB의 등화 이득 (Equalization Gain)을 얻을 수 있다.

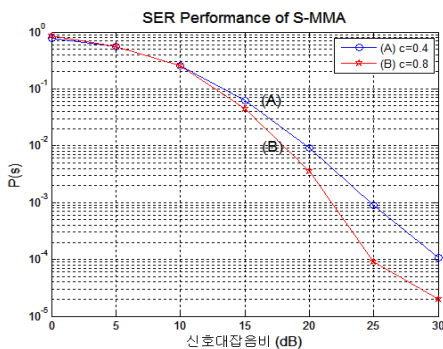


그림 9. SER 성능
Fig. 9. SER performance

V. 결론

논문에서는 대역 제한과 다중 경로 통신 채널에서 발생하는 부호간 간섭과 백색 잡음의 영향을 보상하기 위한 S-MMA 적응 등화 알고리즘에서 slice 가중치에 의한 성능을 비교하였다. 이를 위하여 16-QAM을 송신 신호로 사용하였으며 성능을 비교하기 위하여 등화기 출력 정상도와 잔류 isi, 최대 찌그러짐, MSE 및 SER을 사용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과 slice 가중치가 적은 0.4인 경우 등화기 출력 정상도, 잔류 isi, 최대 찌그러짐과 MSE 성능에서는 가중치가 0.8인 경우보다 우월함을 그림과 표를 이용하여 확인할 수 있었다. 특히 잔류 isi의 경우 -20dB의 정상치에 도달하는데 가중치가 0.4인 경우 2335회, 0.8인 경우 3033회의 연산 시간이 필요하게 되어 적은 가중치가 빨리 수렴 상태에 도달할 수 있음을 알았다. 그러나 SER 성능에서는 신호대 잡음비가 적은 경우에는 가중치와는 무관한 반면 신호대 잡음비가 증가하고 가중치가 클수록 양호한 성능을 얻을 수 있어서 심볼 오류율 10^{-4} 의 경우 약 5dB의 등화 이득 (Equalization Gain)을 얻을 수 있다. 이와 같은 연구 결과를 바탕으로 S-MMA 알고리즘을 적용할 때 채널의 환경에 따라 적당한 slice 가중치를 선택하므로써 최고의 성능으로 채널 등화를 수행할 수 있음을 알 수 있다.

References

- [1] D.N.Godard, "Self-recovering Equalization and carrier tracking in two-dimensional data comm. system", IEEE Trans. on Comm., Vol. 28, pp.186 7~1875, 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] S.G.Lim, "The Performance Comparison of the CMA and MMA Algorithm for Blind Adaptive Equalization", Jour. of I.W.I.T., Vol. 12, No.2, pp.153~158, April 2012
- [4] S.G.Lim, "The Performance Comparison of the

- MMA and SCA Algorithm for Self Adaptive Equalization", Jour. of I.W.I.T., Vol. 12, No. 2, pp. 159~165, April 2012
- [5] J.Yang, J.J.Werner, G.A.Dumont, "The Multimodulus Blind Equalization Algorithm", 13th International Conf. on D.S.P Proceeding Vol.1, pp.127~130, 1997
- [6] S.A.Sheikh, P.Fan, "A New Multimodulus Blind Equalizer for Dense QAM Constellation", International Conf. on Wireless, Mobile and Multimedia networks, pp.1~4, 2006
- [7] S.Abrar, R.A.Axford, "Sliced Multi-modulus Blind Equalization Algorithm", ETRI Journal, Vol. 27, No. 3, June 2005
- [8] W.A.Sethares, G.A.Rey, J.R.C.R.Johnson, "Approach to Blind Equalization of Signal with Multile Modulus", IEEE Proc. ICASSP, pp.972~975, Apr. 1989
- [9] J.T.Yuan, T.C.Lin, "Equalization and Carrier Phase Recovery of CMA and MMA in blind adaptive Receiver", IEEE Trans. on S.P., Vol. 58, No. 6, pp.3206~3217, June 2010
- [10] 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
- [11] 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>