

<http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2016.16.3.81>

IIBC 2016-3-11

Minimum Disturbance 기법을 적용한 AM-SCS-MMA 적응 등화 알고리즘의 성능 해석

A Performance Analysis of AM-SCS-MMA Adaptive Equalization Algorithm based on the Minimum Disturbance Technique

임승각*

Seung-Gag Lim*

요약 본 논문에서는 기존 MMA 적응 등화 알고리즘의 안정성과 낮은 신호대 잡음비에서 robustness를 개선하기 위해 adaptive modulus와 minimum-disturbance 기법을 적용한 AM-SCS-MMA (Adaptive Modulus-Soft Constraint Satisfaction-MMA) 알고리즘의 성능을 해석하였다. AM-SCS-MMA는 적응 등화를 비용 함수를 최소화하기 위해 adaptive modulus와 기존의 LMS 나 gradient descent algorithm 대신 deterministic optimization problem의 minimum-disturbance 기법을 적용하여 텀 계수를 갱신하므로써 채널에서 발생하는 진폭과 위상 찌그러짐에 의한 부호간 간섭을 동시에 줄이면서 등화 필터의 안정성 및 다양한 잡음에 대한 robustness를 개선시킬 수 있다. 이의 개선 성능을 확인하기 위해 시뮬레이션을 수행하였으며 등화기 출력 정상도, 잔류 isi, MSE와 채널 추적 능력을 나타내는 EMSE (Excess MSE) 및 SER을 적용하였다. 컴퓨터 시뮬레이션의 결과 AM-SCS-MMA는 MMA보다 잔류 isi와 MSE에서는 수렴 속도는 늦지만 정상 상태 이후 잔여량이 감소되고 열악한 신호대 잡음비에서 robustness가 있었지만, 채널 추적 능력에서는 열화됨을 확인하였다.

Abstract This paper analysis the AM-SCS-MMA (Adaptive Modulus-Soft Constraint Satisfaction-MMA) based on the adaptive modulus and minimus-disturbance technique in order to improve the stability and robustness in low signal to noise power of current MMA adaptive equalization algorithm. In AM-SCS-MMA, it updates the filter coefficient applying the adaptive modulus and minimum-disturbance technique of deterministic optimization problem instead of LMS or gradient descend algorithm for obtain the minimize the cost function of adaptive equalization. It is possible to improve the equalizer filter stability, robustness to the various noise characteristic and simultaneous reducing the intersymbol interference due to the amplitude and phase distortion occurred at channel. The computer simulation were performed for confirming the improved performance of SCS-MMA. For these, the output signal constellation of equalizer, residual isi, MSE, EMSE (Excess MSE) which means the channel tracking capability and SER which means the robustness were applied. As a result of computer simulation, the AM-SCS-MMA have slow convergence time and less residual quantities after steady state, more good robustness in the poor signal to noise ratio, but poor in channel tracking capabilities was confirmed than MMA.

Key Words : minimum-disturbance technique, residual isi, MSE, EMSE, SER

*정회원, 공주대학교 정보통신공학부 정보통신공학
접수일자 : 2016년 2월 16일, 수정완료 : 2016년 4월 12일
게재확정일자 : 2016년 6월 10일

Received: 16 February, 2016 / Revised: 12 April, 2016 /

Accepted: 10 June, 2016

*Corresponding Author: sglim@kongju.ac.kr

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

I. 서 론

최근 활발한 사회, 경제적 활동을 지원하기 위한 인터넷과 스마트폰의 보급이 증대되면서 다양한 트래픽이 정보 통신망을 통해 전송되고 있다. 이를 위한 정보 통신 기술의 발전사에서 단말기와 전송 기술 및 관련 응용 S/W 기술은 급격한 변화가 있었지만, 송신기와 수신기를 연결해주는 유선과 무선 채널은 상대적으로 변화가 적으므로 광대역, 대용량 정보를 전송하기 위하여 정보 압축과 같은 부가적인 기법이 사용되고 있다^[1]. 유선과 무선의 통신 채널에서는 정보 전송시 전송 가능 대역폭이 제한되거나 페이딩과 지연 확산, 잡음등의 비선형 효과에 의한 고속 전송을 장애하는 요인이 존재한다. 이에 대한 기술적 대책으로 FEC (Forward Error Correction), 부분 응답 부호화 (Partial Response Signalling), 등화기 (Equalizer)를 들 수 있지만, 가장 경제적인 방법은 등화기를 사용하는 것이므로 최근 시스템 설계자들이 많은 관심을 갖고 있다^{[3][4]}. 등화기는 수신측에서 채널의 전달 함수를 추정한 후 이의 역 함수를 갖는 디지털 필터를 말하며, 채널에서 발생하는 부호간 간섭과 같은 비선형 효과를 최소화할 수 있다. 그러나 채널의 함수 추정을 위하여 기지의 학습열을 사용해야 하지만 이로 인한 채널의 가용 대역폭이 낭비되므로, 이에 의존하지 않고 역함수를 얻을 수 있으며 채널의 상태 변화를 추적 가능한 블라인드 적응 등화기가 등장하였으며 CMA (Constant Modulus Algorithm)을 들 수 있다^[6]. 블라인드 방식은 기존의 학습열 의존 방식에 비해 대역폭 낭비없이 등화가 가능하지만 그 성능이 열화되므로 CMA를 개량한 MMA (Multi-Modulus Algorithm)가 등장하였다. 특히 MMA는 진폭과 위상의 동시 보상 능력과 등화 안정성 측면에서 CMA보다 우월하지만 수렴 속도, 정상 상태 이후의 잔여량, 연산량의 등화 성능에서 더욱 개선시킬 수 있는 다양한 변형 방식이 소개되었으며, 수렴 속도를 개선하는 FC-MMA와 잔여량을 개선키 위한 adaptive modulus의 AM-MMA와 연산량을 줄이기 위한 SE-MMA가 있다. 본 논문에서는 적응 알고리즘의 안정성과 신호대 잡음비가 낮은 경우 robustness를 개선시키기 위해 Lin J.C.의 minimum-disturbance를 적용한 SCS-MMA (Soft Constraint Satisfaction-MMA)^[2]에 잔여량을 줄이기 위한 adaptive modulus 개념을 조합한 AM-SCS-MMA의 적응 등화 성능을 기존 MMA와 비교하여 해석

하였다. 논문의 구성으로 2장은 블라인드 적응 등화기를 적용하는 수신 시스템의 기저 대역 모델, adaptive modulus 및 minimum-disturbance 기법과 SCS-MMA 알고리즘에 대하여 설명한 후, 3장은 AM-SCS-MMA의 개선된 적응 등화 성능을 기존 MMA 방식과 비교한 후, 4장에서는 결론을 내리겠다.

II. 본 론

1. 통신 시스템 모델

그림 1은 수신측에서 적응 등화 알고리즘을 갖는 통신 시스템의 기저 대역 모델을 나타낸 것이다. 송신측에서 기저 대역 신호 $s(k)$ 를 전송하면 대역 제한과 페이딩 및 지연 확산 효과를 갖는 임펄스 응답이 $h(k)$ 인 유선과 무선 채널을 통하여 수신측에 전달되며 이때 채널에서는 일정한 신호대 잡음 전력비를 갖는 잡음 $n(k)$ 이 부가된다. 이 과정에서 변복조에 의한 스펙트럼 천이는 이상적으로 간주하였으며, 수신측에서는 임펄스 응답이 $f(k)$ 인 화 필터에 인가되어 채널에 의한 찌그러짐 또는 부호간 간섭을 최소화시킨 후 결정 장치를 통해 송신 신호의 추정치 $\hat{s}(k)$ 를 얻게 된다. 이때 이상적인 등화 필터의 전달 함수는 이론적으로 통신 채널 전달 함수의 역 관계를 갖게 된다. 이때 등화기의 필터 계수 $f(k)$ 는 적응 알고리즘부에서 송신 부호의 실수부와 허수부의 constant modulus 및 등화기 출력 신호 $z(k)$ 를 이용한 오차 신호를 발생하여 새로운 필터 계수 $f(k+1)$ 을 얻게 된다.

이와 같은 과정을 스펙트럼 관점에서는 다음 관계식이 성립된다.

$$Z(f) = S(f) \cdot H(f) \cdot F(f) \quad (1)$$

$$H(f) \cdot F(f) \approx 1$$

$$\therefore Z(f) \approx S(f)$$

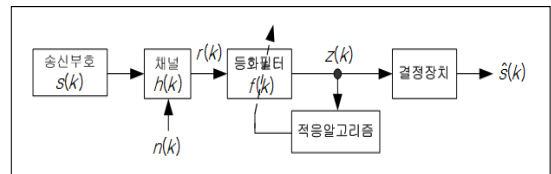


그림 1. 통신 시스템 모델

Fig. 1. Communication system model

2. Minimum Disturbance 기법

그림 1의 기저 대역 통신 시스템 모델에서 송신 신호를 $s(k)$, 채널에서 부가되는 잡음을 $n(k)$, 등화기 입력 신호를 $r(k)$, 등화기의 필터 계수를 $f(k)$, 등화기 출력 신호를 $z(k)$ 라고 하자. 등화기 필터의 차수를 N 이라고 하면 필터 계수 벡터와 등화기 입력 벡터는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} F(k) &= [f(0) f(1) f(2) \dots f(N-1)] \\ R(k) &= [r(k) r(k-1) r(k-2) \dots r(k-N+1)] \end{aligned} \quad (2)$$

이를 이용하여 등화기 출력 $z(k)$ 와 posteriori 출력 벡터 $q(k)$ 는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$z(k) = F^H(k)X(k), \quad q(k) = F^H(k+1)X(k) \quad (3)$$

그러나 stochastic gradient 에 의한 기존 MMA 에서 오차 신호는 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} e_r(k) &= y_r(k)(y_r^2(k) - R_r) \\ e_i(k) &= y_i(k)(y_i^2(k) - R_i) \end{aligned} \quad (4)$$

그러나 Lin J.C가 제안한 minimum disturbance 기법에서는 적응 등화기의 탭 계수 $F(k)$ 의 변화에서 squared Euclidean norm을 최소화하기 위한 constraint를 오차 신호에 고려하여, 다음과 같은 비용 함수를 최소화하기 위한 deterministic optimization 기법을 적용하였다.

$$J = \min \left[\|F(k+1) - F(k)\|^2 + \lambda_1 q(k)(q^2(k) - R_r^2) + \lambda_2 q(k)(q^2(k) - R_i^2) \right] \quad (5)$$

constraints

여기서 λ_1, λ_2 는 lagrange 승산자이며 R_r, R_i 는 송신 신호 $s(k)$ 의 실수, 허수부 dispersion constant이다. 또한 $f(k) = a(k) + jb(k), r(k-m) = u(k-m) + jv(k-m)$ 로 놓으면 constraints는 오차 신호를 smooth하게 하여 갱신되는 탭 계수의 변화를 가능한 한 0에 가깝도록 하며 hard constraint라고 한다. 식(5)를 $F(k+1)$ 에 대해 미분한 후 $q^2 = R_r^2, q^2 = R_i^2$ 를 대입한 후 0으로 놓으면 다음과 같이 된다.

$$a(k+1) - a(k) + \lambda_1 R_r^2 u(k-m) + \lambda_2 R_i^2 v(k-m) = 0 \quad (6)$$

$$b(k+1) - b(k) + \lambda_1 R_r^2 v(k-m) - \lambda_2 R_i^2 u(k-m) = 0$$

식(5)와 (6)에 $u(k-m), v(k-m)$ 을 곱한 후, 이들을 더하여 뺄음으로서 최적 Lagrange 승산자를 얻을 수 있다.

$$\lambda_1^* = - \frac{1}{R_r^2 \|X(k)\|^2} (q_r(k) - z_r(k)) \quad (7)$$

$$\lambda_2^* = - \frac{1}{R_i^2 \|X(k)\|^2} (q_i(k) - z_i(k))$$

식(4)의 기존 MMA 오차 신호는 minimum disturbance 기법에서는 posteriori 출력 $q(k)$ 를 이용하면

$$\begin{aligned} \overline{e_r(k+1)} &= q_r(k)(q_r^2(k) - R_r) \\ \overline{e_i(k+1)} &= q_i(k)(q_i^2(k) - R_i) \end{aligned} \quad (8)$$

과 같이 되며, 이들은 0에 근접하면서 잡음도 감소된다. 그러나 식(8)은 0이 되지 못하므로 이와 같은 constraint optimization problem을 계산하기 위하여 수학적 과정을 거치면 탭 계수 갱신식은 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} F(k+1) &= F(k) - \frac{\mu}{\|X(k)\|^2} X(k) [\hat{e}_r(k) + j\hat{e}_i(k)]^* \\ \hat{e}_r(k) &= z_r(k) - \sqrt{R_r} \operatorname{sgn}(z_r(k)) \\ \hat{e}_i(k) &= z_i(k) - \sqrt{R_i} \operatorname{sgn}(z_i(k)) \end{aligned} \quad (9)$$

3. Soft Constraint Satisfaction-MMA

SCS는 식(4)의 블라인드 등화를 위한 비용 함수에서 constraint를 식(8)의 hard 방법에서 다음의 soft 방법으로 구현한 것이며 constraint satisfaction을 위한 degree를 제어하기 위한 파라미터 μ 를 이용한다. 식(6)와 스텝 크기를 조합하여 q_r, q_i 를 soft constraint라고 하며 식(9)에서 다음의 관계를 얻을 수 있다.

$$\frac{q_r(k)}{z_r(k)} = \frac{R_r}{|z_r(k)|}, \quad \frac{q_i(k)}{z_i(k)} = \frac{R_i}{|z_i(k)|} \quad (10)$$

여기서 Lagrange 승산자는 다음과 같이 정의된다.

$$\lambda_1^* = -\frac{1}{R_r^2 \|X(k)\|^2} \left(1 - \frac{|z_r(k)|}{R_r}\right) \quad (11)$$

$$\lambda_2^* = -\frac{1}{R_i^2 \|X(k)\|^2} \left(1 - \frac{|z_i(k)|}{R_i}\right)$$

식(11)을 식(6)에 대입한 후 스텝 크기 μ 를 결합하면

$$a(k+1) - a(k) + \mu[\lambda_1 R_r^2 u(k-m) + \lambda_2 R_i^2 v(k-m)] = 0 \quad (12)$$

$$b(k+1) - b(k) + \mu[\lambda_1 R_i^2 v(k-m) - \lambda_2 R_r^2 u(k-m)] = 0$$

가 되며, 식(12)를 풀면

$$q(k) = \frac{z_r(k)}{1 - \mu\left(1 - \frac{|z_r(k)|}{R_r}\right)}, \quad \tilde{q}(k) = \frac{z_i(k)}{1 - \mu\left(1 - \frac{|z_i(k)|}{R_i}\right)} \quad (13)$$

가 되고, 이를 이용하면 soft constraint satisfaction의 MMA 알고리즘을 위한 탭 계수 갱신식은 다음과 같다.

$$F(k+1) = F(k) + \frac{\mu}{\|X(k)\|^2} \left[\frac{z_r(k)\left(1 - \frac{|z_r(k)|}{R_r}\right)}{1 - \mu\left(1 - \frac{|z_r(k)|}{R_r}\right)} + j \frac{z_i(k)\left(1 - \frac{|z_i(k)|}{R_i}\right)}{1 - \mu\left(1 - \frac{|z_i(k)|}{R_i}\right)} \right]^* X(k) \quad (14)$$

여기서 스텝 크기 μ 가 충분히 적으며 원하는 local 해 부근에서 $1 - \mu\left(\frac{|z_{r,i}(k)|}{R}\right) \approx 1$ 이 되므로 식(14)는 다음과 같이 된다.

$$F(k+1) = F(k) + \frac{\mu}{\|X(k)\|^2} \left[z_r(k)\left(1 - \frac{|z_r(k)|}{R_r}\right) + j z_i(k)\left(1 - \frac{|z_i(k)|}{R_i}\right) \right]^* X(k) \quad (15)$$

4. Adaptive Modulus

SCS-MMA는 식(4)의 송신 신호 고차 통계치를 이용하는 R_r, R_i 의 고정된 dispersion constant를 이용하지만,

adaptive modulus에서는 적응 등화기의 출력 전력에 비례하는 가변 modulus를 적용하여 등화 성능을 개선시킬 수 있다. 16-QAM 전송의 경우 그림 2와 같이 등화기 출력이 속하는 실수와 허수의 영역을 분할하여 각 신호점의 크기를 modulus값으로 이용하며 다음의 규칙이 적용된다.

$$\begin{cases} \text{If } z_{Rk} \in Z_{R-1} & \text{then } R_r = 0.3153 \\ \text{If } z_{Rk} \in Z_{R-2} & \text{then } R_r = 0.946 \\ \text{If } z_{Ik} \in Z_{I-1} & \text{then } R_i = 0.3153 \\ \text{If } z_{Ik} \in Z_{I-2} & \text{then } R_i = 0.946 \end{cases} \quad (16)$$

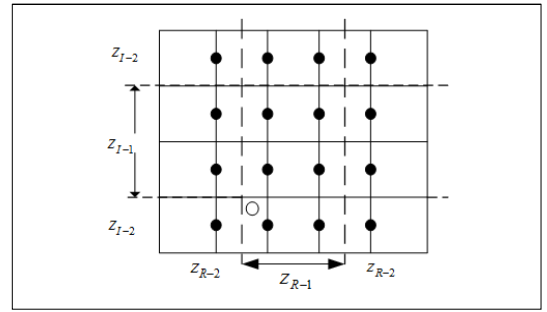


그림 2. adaptive modulus를 위한 영역 분할
Fig. 2. Region separation for adaptive modulus

III. 컴퓨터 시뮬레이션 및 결과

adaptive modulus와 minimum-disturbance 기법을 적용한 AM-SCS-MMA 적응 등화 알고리즘의 개선 성능을 기존 MMA 알고리즘과 비교하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 동일한 채널과 신호대 잡음비를 30dB로 고정하여 잡음을 부가하였으며, 송신 신호로는 대역폭 효율이 높은 16-QAM 신호를 사용하였다. 또한 적응 스텝의 크기로 MMA는 0.0015, AM-SCS-MMA는 0.009이었으며 그림 3은 시뮬레이션에 사용된 통신 채널의 임펄스 응답을 실수부와 허수부로 분할하여 나타낸 것이다.

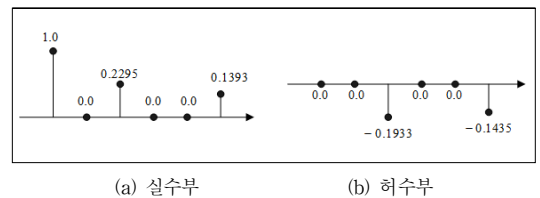


그림 3. 채널의 임펄스 응답 계수
Fig. 3. Impulse response coefficient of channel

이들 적응 등화 알고리즘의 성능을 위해서는 등화기 출력 성상도, 잔류 isi, MSE와 EMSE를 사용하였다. 출력 성상도는 등화기의 신호점 군집 능력을 나타내므로 각 신호점의 폭과 신호점간의 거리를 비교할 수 있다. 출력 성상도에서는 신호점의 폭(w)이 좁고 신호점간의 거리(d)가 클수록 동일한 송신 전력하에서 오류 가능성을 줄이게 되며 그림 4에 나타내었다. MMA에서 실수 방향으로 w는 0.3223, d는 0.6958이었으며, AM-SCS-MMA에서 w=0.3023, d는 0.6965의 결과를 얻어졌다. 성상도에서 AM-SCS-MMA가 MMA보다 우월함을 알 수 있다.

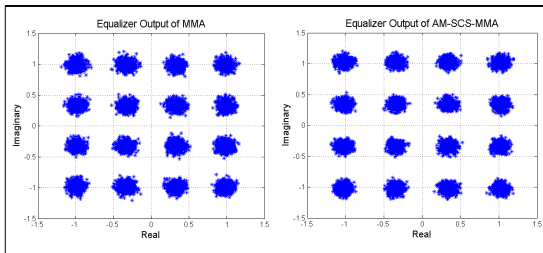


그림 4. 출력 신호의 성상도
 Fig. 4. Output signal constellation

적응 등화기의 내부 성능을 비교하기 위한 성능 지수로 잔류 isi, MSE 및 EMSE를 사용하였다. 이들 곡선에서 얻을 수 있는 것은 초기의 과도 과정을 지나 특정한 레벨의 정상 상태 (stable state)에 도달할 때까지의 수렴 속도와 정상 상태에서의 잔여량이다. 잔류 isi는 이론적으로 완전 등화 상태에서 채널과 등화기의 종합 특성이 임펄스가 되어야지만 실제적으로 잔여 성분들이 존재하므로 이들 성분들의 크기를 나타낸 것이며, 그림 5는 반복 횟수에 따른 잔류 isi 성능을 나타내었다. -20dB의 정상 상태에 도달하기 위한 수렴 속도와 이후의 잔여량을 나타낸 것으로 수렴 속도에서는 MMA가 AM-SCS-MMA보다 빠르지만, 이후의 잔여량에서는 AM-SCS-MMA가 MMA보다 적어짐을 알 수 있다.

그림 6은 이들 등화 알고리즘의 MSE 성능을 나타낸 것으로, 이는 결정 장치에서 "1"과 "0"를 판별할 때 발생하는 진폭의 흔들림 또는 jitter량을 나타낸 것이다. 이는 결정 장치의 입력 신호인 등화기 출력 신호와 결정 장치를 통과한 후의 신호 크기의 차이의 제곱치로서 일종의 잡음을 나타낸 것이다. MSE 성능에서도 정상 상태에 도달하기 위한 수렴 속도에서는 MMA가 AM-SCS-MMA보다 빠르지만, 정상 상태 이후의 jitter에서는 AM-SCS-MMA가 MMA보다 감소됨을 알 수 있다.

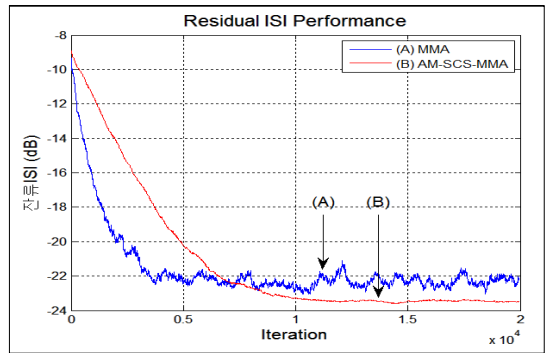


그림 5. 잔류 isi 성능
 Fig. 5. Residual isi performance

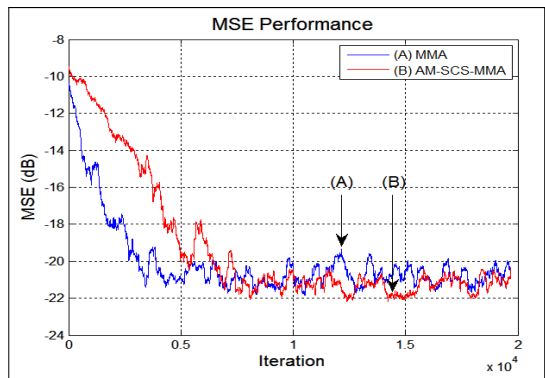


그림 6. MSE 성능
 Fig. 6. MSE performance

적응 등화기의 성능 중에서 시변 통신 채널에 대한 추적 능력이며 이를 나타내기 위하여 MSE에서 최소값을 뺀 EMSE 성능이며 이를 그림 7에 나타내었다. EMSE 성능에서는 MMA가 AM-SCS-MMA보다 미미하게 우월함을 알 수 있다.

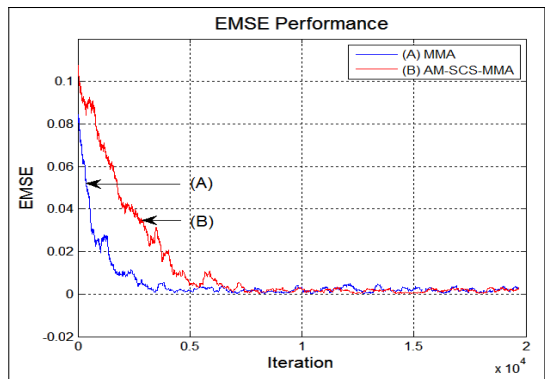


그림 7. EMSE 성능
 Fig. 7. EMSE Performance

표 1은 그림 5, 6, 7에서 제시된 정성적인 성능 곡선들에 대한 정량적인 해석 결과를 나타낸 것으로 정상 상태에 도달하기 위해 수렴 속도를 나타내는 iteration횟수 및 정상 상태 이후의 성능치들의 평균과 분산값이다.

표 1. 성능 지수의 통계치

Table 1. Statistics of performance index

		평균	분산
잔류isi	MMA	0.0060	4.75e-7
	AM-SCS-MMA	0.0051	1.3e-6
MSE	MMA	0.0084	1.02e-6
	AM-SCS-MMA	0.0081	2.77e-6
EMSE	MMA	0.0024	3.77e-6
	AM-SCS-MMA	0.0025	4.84e-6

마지막 성능 지수로는 적응 등화 알고리즘이 채널에서 부가되는 잡음에 대한 robustness를 확인하기 위한 심볼 오류율 (SER) 성능을 그림 8에 나타냈다. 채널에서 부가되는 신호대 잡음비를 0 ~ 10dB 까지 1dB 단위로 변화시키면서 20,000개의 심볼을 5회 montecarlo simulation한 결과이다. 시뮬레이션 결과 신호대 잡음비가 열악할수록 AM-SCS-MMA가 MMA보다 우월하지만, 신호대 잡음비가 증가할수록 우월함이 감소하여 10dB 전후부터는 이들이 유사해짐을 알 수 있다. 따라서 AM-SCS-MMA는 MMA보다 신호대 잡음비가 열악한 환경에서 개선된 robustness를 가짐을 알 수 있다.

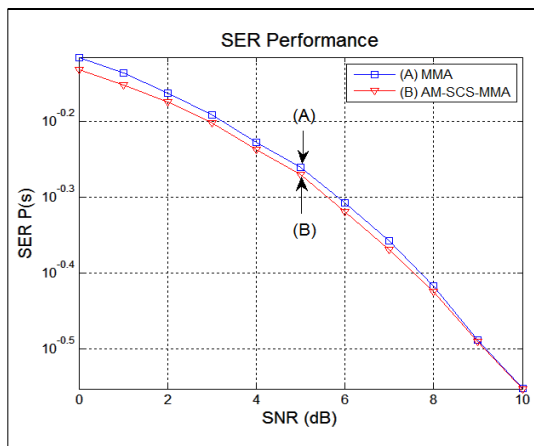


그림 8. SER 성능
Fig. 8. SER performance

V. 결론

논문에서는 통신 채널에서 발생하는 찌그러짐에 의한 부호간 간섭을 경감할 수 있는 블라인드 적응 등화 알고리즘인 MMA에서 등화의 안정성과 낮은 신호대 잡음비에서 robustness를 개선시키기 위하여 adaptive modulus와 minimum-disturbance 기법을 적용한 soft constraint satisfaction의 AM-SCS-MMA의 적응 등화 성능을 해석하였다. 적응 등화 성능에서 잔류 isi와 MSE 성능에서 수렴 속도는 느려지지만, 정상 상태 이후부터는 개선된 성능을 가졌지만 채널 추적 능력을 나타내는 EMSE 성능에서는 미미한 성능 열화를 확인하였다.

이와 같은 연구 결과 AM-SCS-MMA는 채널에서 부가되는 잡음이 지배적인 환경에서 MMA보다 우월한 robustness를 가지지만 잡음이 적은 환경에서는 MMA보다 열화되어 고속 광대역 트래픽 전송을 위한 적응 등화 알고리즘으로 한계가 있었다. 이와 같은 단점을 개선하기 위하여 AM-SCS-MMA 알고리즘에 대한 지속적인 연구가 필요하게 될 것으로 기대된다.

References

- [1] O.Tanrikulu, A.G.Constantinides, J.A.Chambers, "New Normalized Constant Modulus Algorithms with Relaxation", IEEE Signal Processing Lett., Vol.4, No.9, pp.256~258, 1977.
- [2] S.Abrar, A.Zerguind, M.Deriche, "Soft Constraint Satisfaction Multimodulus Blind Equalization Algorithms", IEEE Signal Processing Lett., Vol.12, No.9, pp.637~640, Sep. 2005.
- [3] J.C.Lin, "Blind equalization technique based on an improved constant modulus adaptive algorithm", Proc. Inst. Elect. Eng. Commun., Vol.149, No.1, pp.45~50, Feb. 2002.
- [4] M.Rupp, S.C.Douglas, "A Posteriori Analysis of Adaptive Blind Equalizers", Asilomar Conf. Signals, Syst., Computers, Vol.1, pp.369~373, 1998.
- [5] S.A.Sheikh, P.Fan, "A New Multimodulus Blind Equalizer for Dense QAM Constellation", Wireless, Mobile and Network, Int. Conf. of

ICWMMN2006, pp.1~4, 2006.

- [6] S.G.Lim, "Performance Improvement of MCMA Equalization Algorithm Using Adaptive Modulus", Jour. of I.I.B.C., Vol.14, No.3, pp.57~62, June 2014.
- [7] S.A.Sheikh, P.Fan, "Two efficient adaptively varying modulus blind equalizers : AVMA and DM/AVMA", Digital Signal Processing 16, pp.832~845, 2006.

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>