

<https://doi.org/10.7236/IIBC.2018.18.2.105>

IIBC 2018-2-12

NM-MMA 적응 등화 알고리즘에서 Scaling Factor에 의한 성능 변화

A Performance Variation by Scaling Factor in NM-MMA Adaptive Equalization Algorithm

임승각*

Seung-Gag Lim*

요약 본 논문에서는 NM-MMA (Novel Mixed-Multi Modulus Algorithm) 알고리즘에서 mixed 비용 함수를 얻기 위한 scaling factor값에 의한 적응 등화 성능을 비교하였다. NM-MMA의 mixed 비용 함수는 MMA와 SE-MMA 비용 함수에서 gradient vector를 적절한 scaling factor 가중치 합으로 구성되며, 이를 이용하여 탭 계수 갱신을 하므로 기존 방식들의 수렴 속도와 MSE양을 개선할 수 있다. 논문에서는 scaling factor를 변화시킬 때 동일한 채널과 스텝 크기 및 신호대 잡음비의 환경에서 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하여 등화기 출력 성상도, 잔류 isi, MD, MSE 및 SER 성능을 비교하였다. 컴퓨터 시뮬레이션의 결과 MMA 비용 함수의 가중치가 SE-MMA 비용 함수의 가중치보다 큰 경우에는 성능 지수의 잔여량에서 우월하며, 그 반대의 경우 수렴 속도가 개선됨을 확인하였다.

Abstract This paper compare the adaptive equalization performance of NM-MMA (Novel Mixed-MMA) algorithm which using the mixed const function by scaling factor values. The mixed cost function of NM-MMA composed of the appropriate weighted addition of gradient vector in the MMA and SE-MMA cost function, and updating the tap coefficient based on these function, it is possible to improve the convergence speed and MSE value of current algorithm. The computer simulation was performed in the same channel, step size, SNR environment by changing the scaling factor, and its performance were compared applying the equalizer output constellation, residual isi, MD, MSE, SER. As a result of computer simulation, the residual values of performance index were reduced in case of the scaling factor of MMA cost function was greater than the scaling factor of SE-MMA. and the convergence speed was improved in case of the scaling factor of SE-MMA was greater than the MMA.

Keywords : MMA, SE-MMA, NM-MMA, residual isi, scaling factor, SER

1. 서론

오늘날 사용자에게 이동성과 언제, 어디서나 자유로운 통신 서비스를 제공할 수 있는 무선 채널을 통한 정보

통신 서비스를 위한 전송의 수요가 증가되고 있다. 그러나 이와 같은 편리성의 이면에는 다중 경로 페이딩 및 대역 제한, 지연 확산등의 장애 요인이 존재하여 고속, 광대역 정보 전송에서 한계를 갖는다. 이와 같은 다양한 장애

*정회원, 공주대학교 정보통신공학부 정보통신공학전공
접수일자 : 2018년 1월 16일, 수정완료 : 2018년 2월 26일
게재확정일자 : 2018년 4월 6일

Received: 16 January, 2018 / Revised: 26 February, 2018

Accepted: 6 April, 2018

*Corresponding Author: sglim@kongju.ac.kr

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

요인들에 인하여 신호 전송에는 부호간 간섭의 원인이 되어 통신 서비스의 QoS 저하와 송수신국간 동기 이탈의 원인이 된다^{[1][2]}. 이를 경제적으로 해결할 수 있는 방법으로 적응 등화기를 사용하는 것이므로 최근 시스템 설계자들이 많은 관심을 갖고 있다. 기존의 등화기는 학습열에 의한 채널 전달 함수의 추정과 함수의 역함수를 갖는 디지털 필터를 말하며, 이를 주기적으로 전송하므로 전송 대역폭의 낭비와 전송 효율을 저하시킨다. 그러나 블라인드 등화기는 학습열에 의존하지 않는 등화기로서 기존 방식의 문제점을 해결할 수 있지만 등화 성능이 기존 방식보다 열화되는 새로운 한계를 가지므로, 이를 극복할 수 있는 다양한 알고리즘이 등장하였다. 대표적인 블라인드 방식의 알고리즘으로는 CMA (Constant Modulus Algorithm)을 들 수 있다^[3]. CMA는 간단한 연산으로 실시간 응용 및 robust한 등화가 가능하지만 진폭만 보상이 가능하며 위상은 불가능하여 별도의 보정 장치를 사용해야 한다. 이를 개량한 MMA (Multi-Modulus Algorithm)가 등장하여 진폭과 위상의 동시 보상 능력과 등화 안정성 측면에서 CMA보다 우월하지만 등화기의 수렴 속도가 늦어지며 연산량이 CMA보다 증가된다. 또한 다양한 변형 MMA 방식중에서 SE-MMA (Signed Error-MMA)는 MMA의 연산량을 줄여 고속 정보 전송에 사용할 수 있지만 MSE 성능이 MMA보다 열화된다^{[4][5]}.

본 논문에서는 MMA의 느린 수렴 속도와 SE-MMA의 MSE 성능을 개선하기 위하여 이들의 비용 함수를 scaling factor의 가중치 함수로 조합시킨 NM-MMA (Novel Mixed-MMA) 알고리즘에서 scaling factor에 의한 등화 성능을 시뮬레이션을 통해 확인한다. 논문의 구성으로 2장은 적응 등화기를 사용하는 시스템 기저 대역 모델, MMA와 SE-MMA 및 제안 NM-MMA 알고리즘에 대해 설명한 후, 3장은 제안 알고리즘의 scaling factor에 따른 등화 성능을 제시한 후, 4장에서는 결론을 내리겠다.

II. 본 론

1. 통신 시스템 모델

그림 1은 수신측에서 적응 등화기를 갖는 통신 시스템의 기저 대역 모델을 나타낸 것이다. 송신측에서 기저 대

역 신호 $s(k)$ 를 전송하면 부호간 간섭을 발생하는 임펄스 응답이 $h(k)$ 인 채널을 통하여 수신측에 전달된다. 이때 채널에서는 일정한 SNR을 갖는 잡음 $n(k)$ 가 부가된다. 수신측의 수신 신호 $r(k)$ 는 임펄스 응답이 $f(k)$ 인 등화 필터에 인가되어 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 역관계를 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 시간 영역에서 나타내면 다음과 같다.

$$z(k) = [s(k)*h(k)+n(k)]*f(k) = [s(k)*h(k)*f(k)]+n(k)*f(k) \quad (1)$$

여기서 *는 convolution을 나타내며 $n(k)*f(k)$ 는 상호 독립적이므로 0에 가까우며, $h(k)*f(k) = \delta(k)$ 의 관계가 있으므로 지연을 무시하면 $z(k) \approx s(k)$ 가 된다.

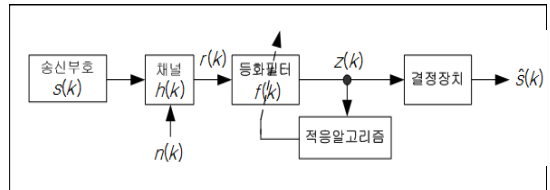


그림 1. 통신 시스템 모델
Fig. 1. Communication system model

2. MMA 알고리즘

그림 1의 모델에서 등화기 필터의 차수를 N 이라고 하면 필터 계수와 등화기 입력 벡터는 다음과 같다.

$$F(k) = [f(0) f(1) f(2) \dots f(N-1)] \quad (2)$$

$$R(k) = [r(k) r(k-1) r(k-2) \dots r(k-N+1)]$$

MMA는 CMA의 단일 modulus를 multiple modulus로 확장하여 등화기 출력에 비례하는 signal constellation point의 각 subset에 이들 multiple modulus 중 1개를 할당시킨다. 또한 비용 함수는 2차원이 아닌 1차원의 합으

로 구성되며, 비용 함수에서 등화기 출력의 실수와 허수부를 고려하므로 채널의 진폭 및 위상 찌그러짐을 동시에 보상할 수 있다. 이들은 저차 QAM 신호에 대해서는 비슷한 수렴 특성을 보이지만, 고차 QAM 신호에 대해서는 MMA가 CMA보다 우월한 수렴 특성을 보이면서 정상 상태에서 misadjustment에 의한 영향이 적으므로 등화 잡음이 적게 된다. MMA의 비용 함수와 오차 함수는 식(3)과 같이 정의된다.

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

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

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

여기서 R_{MMA}^2 를 constant modulus라고 하며 등화기의 출력이 modulus 주위에 위치하도록 계수 f_k 를 갱신한다.

$$f(k+1) = f(k) - \mu \overline{e_{kMMA}} R(k)^* \quad (4)$$

3. SE-MMA 알고리즘

SE-MMA는 식(3)의 MMA 오차 함수에서 오차 신호 $\overline{e_{kMMA}}$ 의 부호만을 이용하여 필터 계수의 갱신에 사용되기 때문에 붙여진 이름이며, 비용 함수와 오차 신호는 다음과 같다.

$$J_{SE-MMA} = E[(|z_{kr}|^2 - R_{MMA}^2)^2 + (|z_{ki}|^2 - R_{MMA}^2)^2] \quad (5)$$

$$\overline{e_{kSE-MMA}} = \text{sgn}[z_{kr} (|z_{kr}|^2 - R_{MMA}^2)] + j \text{sgn}[z_{ki} (|z_{ki}|^2 - R_{MMA}^2)]$$

여기서 sgn은 signum 함수를 나타내며, MMA 또는 SE-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. SE-MMA는 적응 필터의 탭 계수를 위한 갱신식은 다음과 같다.

$$f(k+1) = f(k) - \mu \overline{e_{kSE-MMA}} R(k)^* \quad (6)$$

여기서 적응 상수가 고정될 때 탭 갱신을 위한 오차 함수를 곱하는 과정을 단순히 부호만을 고려하므로 알고리즘의 연산량을 줄일 수 있게 되어 수렴 속도를 개선시킬 수

있지만 등화 후에는 MSE가 증가되는 단점이 있다^[7]. 그림 2는 SE-MMA의 내부 구성도를 나타낸 것이다.

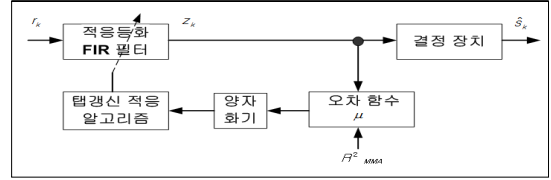


그림 2. SE-MMA의 구조
 Fig. 2. Structure of SE-MMA

4. NM-MMA 알고리즘

MMA의 수렴 속도를 개선하고 SE-MMA의 MSE를 줄이기 위하여 constant modulus 비용 함수와 signed constant modulus 비용 함수를 조합한 NM-MMA가 등장하였으며 이의 mixed 비용 함수는 (7)과 같다^[6].

$$J_{NM-MMA} = k_1 J_{MMA}(k) + k_2 J_{SE-MMA}(k) \quad (7)$$

여기서 $0 \leq k_1 < 1$, $0 \leq k_2 < 1$ 은 scaling factor를 나타내며 $k_1 + k_2 = 1$ 이 되어야 하며 mixed 비용 함수는 MMA와 SE-MMA 비용 함수의 gradient vector를 이용하여 탭 계수 갱신을 하며, 이들은 다음과 같다.

$$f(k+1) = f(k) - \mu \nabla_{NM-MMA}(k) R(k)^* \quad (8)$$

$$= f(k) - \mu [k_1 (|z(k)|^2 - R_{MMA}) + k_2 \text{sgn}[z(k) (|z(k)|^2 - R_{MMA})]] R(k)^*$$

그림 3은 NM-MMA의 내부 구성도를 나타낸 것으로 MMA와 SE-MMA의 2 가지 오차 함수를 이용하여 mixed 비용 함수의 gradient vector를 얻기 위해 MMA 비용 함수를 k_1 배, SE-MMA 비용 함수를 k_2 배 scaling 한 후 이들을 조합시켜 탭 갱신 적응 알고리즘에서 사용하고 있다.

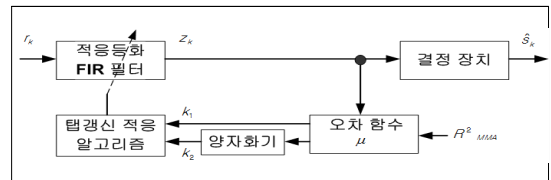


그림 3. NM-MMA의 구조
 Fig. 3. Structure of NM-MMA

III. 컴퓨터 시뮬레이션 및 결과

식 (7)에서 정의된 NM-MMA 적응 등화 알고리즘의 성능을 기존 MMA와 SE-MMA와 비교, 확인하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 동일한 채널과 신호대 잡음비를 30dB로 설정한 후, 송신 신호로는 대역폭 효율이 높은 16-QAM 신호를 사용하였다. 또한 적응 스텝 μ 는 공통적으로 0.0007이며, NM-MMA 알고리즘에서 scale factor k_1, k_2 의 값을 0.1과 0.9, 0.5와 0.5, 0.9와 0.1로 변화시켰다. 그림 4는 부호간 간섭을 발생시키는 통신 채널의 실수부와 허수부 임펄스 응답을 나타낸 것이며, 그림 5는 전체적인 신호 처리 과정을 나타낸 것이다.

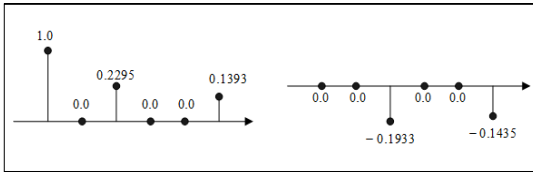


그림 4. 채널의 임펄스 응답 계수
Fig. 4. Impulse response coefficient of channel

신호 처리를 위해서는 MMA 알고리즘과 SE-MMA 알고리즘의 비용 함수 J_{MMA}, J_{SE-MMA} 를 얻은 후, scaling factor값을 적용한 mixed 비용 함수 J_{NM-MMA} 를 얻었다. 이들 3 가지 등화 알고리즘과 NM-MMA에서는 k_1, k_2 값을 변화시킬 때 등화 성능을 외부 지수인 등화기 출력 성장도, SER 및 내부 지수인 잔류 isi와 MD, MSE를 적용하면서 비교하였다. 이들 지수에서 등화기 출력 성장도는 각 알고리즘이 부호간 간섭을 줄이면서 신호점의 군집 능력을 나타낸다. 16개의 신호점 폭과 신호점간 거리를 직관적으로 비교하면 성능의 우월성을 알 수 있으며, 폭이 좁고 거리가 클수록 등화 성능이 우월하게 된다.

그림 6은 NM-MMA에서 각 알고리즘의 scaling factor k_1, k_2 에 따른 정상 상태 이후의 출력 신호 성장도를 나타낸 것이다. 신호점의 폭과 거리에서 볼 때 MMA의 factor값이 클수록 성능이 우월해짐을 알 수 있다.

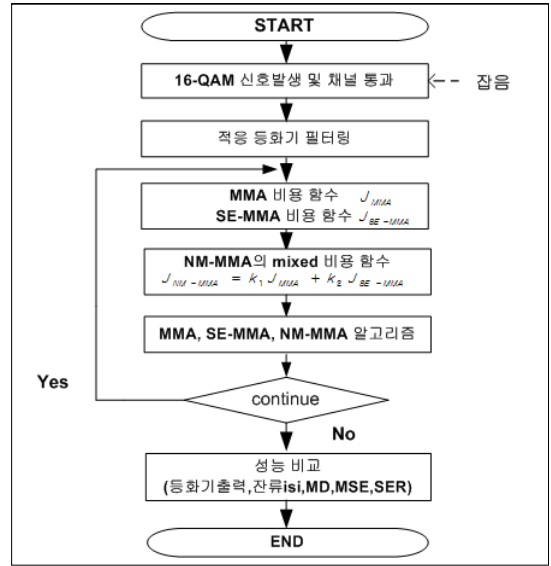


그림 5. 신호 처리 과정
Fig. 5. Signal processing flow

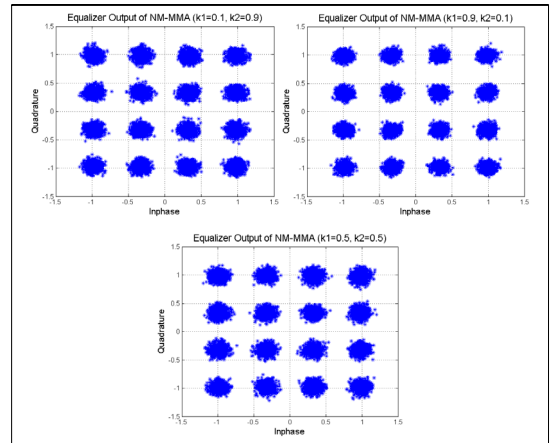


그림 6. 출력 신호의 성장도
Fig. 6. Output signal constellation

내부 성능을 비교하기 위하여 잔류 isi, MD, MSE가 있으며, 이들 곡선에서는 초기의 과도 과정을 지나 특정한 레벨의 정상 상태에 도달할 때까지의 수렴 속도와 그 이후의 잔여량을 알 수 있다. 먼저 잔류 isi는 이론적으로 완전 등화 상태에서 채널과 등화기의 종합 특성이 임펄스가 되어야지만 실제적으로 잔여 성분이 존재하므로 이들의 전력을 나타내며, MD (Maximum Distortion)는 잔여 성분들의 전압을 나타낸다. 그림 7과 8은 잔류 isi와 MD 성능을 나타낸 것으로, scaling factor값이 0.5로 동일

한 경우 SE-MMA의 빠른 수렴 속도 특성을 얻을 수 있으며, MMA의 scaling factor k_1 값을 크게 할수록 수렴 속도는 느리지만 잔여량에서는 적어짐을 알 수 있다.

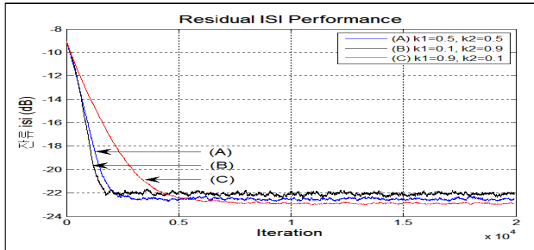


그림 7. 잔류 isi 성능
 Fig. 7. Residual isi performance

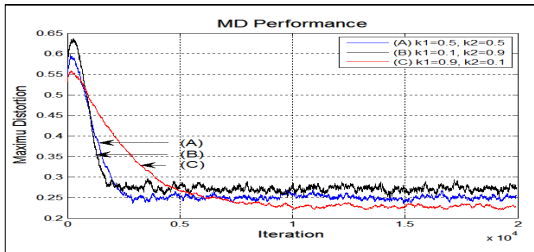


그림 8. MD 성능
 Fig. 8. MD performance

그림 9는 scaling factor값에 따른 NM-MMA의 MSE 성능을 나타낸 것으로, 이는 결정 장치에서 “1”과 “0”를 판별할 때 발생하는 진폭의 흔들림 또는 jitter량을 나타낸 것으로, 결정 장치의 입력 신호인 등화기 출력 신호와 결정 장치를 통과한 후의 신호 크기의 차이의 자승치로서 일종의 잡음을 나타낸 것이다. MSE 성능에서도 정상 상태에 도달하기 위한 수렴 속도 빠름에서는 SE-MMA의 factor값 k_2 가 클수록 빠르지만, 정상 상태 이후의 잔여량에서는 열악해짐을 알 수 있다.

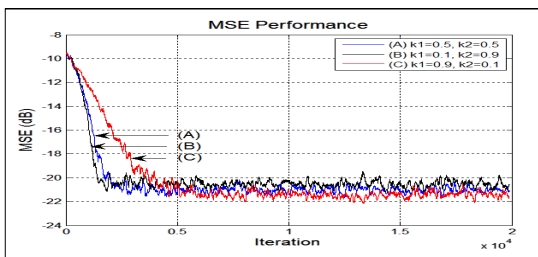


그림 9. MSE 성능
 Fig. 9. MSE performance

NM-MMA의 scaling factor값 k_1, k_2 에 따른 그림 7, 8, 9에 대한 정상 상태 (잔류 isi는 -20dB, MD는 0.3, MSE는 -19dB) 도달할 때 까지의 수렴 속도와 그 이후의 정량적인 잔여량의 평균값을 표 1에 나타내었다. 수렴 속도측면에서는 k_2 값이 클수록, 정상 상태 이후의 잔여량에서는 k_1 값이 클수록 우수한 성능을 얻을 수 있다.

표 1. 성능 지수의 통계치

Table 1. Statistics of performance index

	$k_1 = 0.5,$ $k_2 = 0.5$	$k_1 = 0.1,$ $k_2 = 0.9$	$k_1 = 0.9,$ $k_2 = 0.1$
잔류isi	속도: 1519회	1263회	2963회
	평균: 0.0057	0.0062	0.0054
MD	1944회	1638회	3879회
	0.2514	0.2722	0.2366
MSE	1637회	1258회	2939회
	0.0080	0.0089	0.0076

마지막 성능 지수로는 scaling factor값에 의한 적응 알고리즘의 잡음에 대한 강인성을 확인하기 위한 심볼 오류율 (SER) 성능을 그림 10에 나타내었으며, 신호대 잡음비를 0 ~ 30dB 까지 5dB 단위로 변화시키면서 20,000개의 심볼을 5회 montecarlo simulation하였다. SER 성능에서 MMA 비용 함수의 factor k_1 이 SE-MMA 비용 함수의 factor k_2 보다 큰 경우 우월한 성능을 얻을 수 있으며, 신호대 잡음비가 커질수록 적응 등화 이득이 증가해짐을 알 수 있는데, 이는 기본적으로 MMA의 성능에 근사해짐을 의미한다. 예는 MMA 성능에 근사해지며, 반대의 경우 SE-MMA 성능에 근사함을

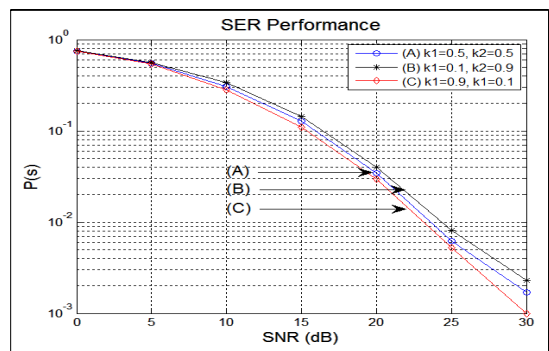


그림 10. SER 성능
 Fig. 10. SER performance

알 수 있고, 이들 값이 동일한 경우 MMA와 SE-MMA 성능의 중간 정도임을 알 수 있다.

V. 결론

논문에서는 NM-MMA 적응 등화 알고리즘에서 MMA 비용 함수의 scaling factor k_1 과 SE-MMA 비용 함수의 scaling factor k_2 값의 변화에 따른 등화 성능을 비교하였다. NM-MMA는 기존 MMA와 SE-MMA 비용 함수를 scaling factor한 mixed 비용 함수를 가지므로, 이 값을 0.1과 0.9, 0.5와 0.5, 0.9와 0.1로 변화시키면서 성능을 비교하였다. 성능 비교 결과 $k_1 > k_2$ 의 경우 정상 상태 이후의 잔류 ISI 와 MD, MSE의 잔여량 및 SER 성능에서 $k_1 < k_2$ 의 경우 보다 우월하여 MMA의 성능에 근사해짐을 알 수 있었고, $k_1 < k_2$ 의 경우 수렴 속도 측면에서는 대략 2.6배 정도를 개선할 수 있어서 SE-MMA의 성능에 근사해지며, $k_1 = k_2$ 의 경우 모든 성능 지수에서 중간 정도를 얻을 수 있었다.

본 연구 결과 통신 트래픽이 영상 정보와 같이 상관성이 높은 광대역 트래픽에서는 $k_1 < k_2$ 가 되도록 설정하고, 음성과 같이 진폭 변화에 민감한 청각 특성을 고려한다면 $k_1 > k_2$ 가 되도록 설정하여 QoS를 만족시키는 것이 필요할 것으로 기대한다.

References

- [1] D.N.Godard, "Self-recovering equalization and carrier tracking in two-dimensional data communication systems", IEEE Trans. Com., Vol.28, pp.1867~1875, Nov. 1980.
DOI : 10.1109/TCOM.1980.1094608
- [2] I.Fijalkow, A.Touzni, J.R.Treichler, "Fractionally spaced Equalization using CMA : Robustness to channel noise and lack of disparity", IEEE Trans. S. P., Vol.45, pp.56~66, Jan. 1997.
DOI : 10.1109/78.552205
- [3] J.Yang, J.J.Werner and G.A.Dumont, "The multi-modulus blind equalization algorithm", 13th Int.

conf. of DSP, Vol. 1, pp.127~140, 2-4 July, 1997.
DOI : 10.1109/ICDSP.1997.627988

- [4] Wen si-yuan, Liu Feng, "A Computationally Efficient Multi-modulus Blind Equalization Algorithm", 2nd IEEE Int. conf. of Infor. Eng. and Management, pp.685~687, 2010. DOI : 10.1109/ICIME.2010.5478261
- [5] V.Weerackody, S.A.Kassam, K.R.Laker, "A simple hard-limited adaptive algorithm for blind equalization", IEEE Trans. on Circuits and System, Vol.39, No.7, pp.482~487, July 1992. DOI : 10.1109/82.160173
- [6] Yecai Guo, Juwei Zhao, "A Novel Mixed Constant Modulus Blind Equalization Algorithm", 7th Int. conf. of ICSP'04, pp.319~322, 2004.
- [7] S.G. Lim, D.S. Kang, "Performance of SE-MMA Blind Equalization Algorithm in QAM System", Jour. of I.I.B.C., Vol.13, No.3, pp.63~69, June 2013.

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>