

<https://doi.org/10.7236/IIBC.2017.17.1.77>

IIBC 2017-1-10

오차 신호의 비선형 변환을 이용한 Varying Step Size 방식의 SE-MMA 적응 등화 알고리즘의 성능 평가

Performance Evaluation of SE-MMA Adaptive Equalization Algorithm with Varying Step Size based on Error Signal's Nonlinear Transform

임승각*

Seung-Gag Lim*

요약 본 논문은 16-QAM과 같은 스펙트럼 효율적인 nonconstant modulus 신호 전송에서 채널에서 발생하는 찌그러짐에 의한 부호간 간섭을 보상하기 위한 SE-MMA (Signed Error-Multiple Modulus Algorithm) 블라인드 적응 등화 알고리즘에서 오차 신호의 비선형성을 이용한 가변 적응 스텝 크기를 적용하여 등화 성능을 개선할 수 있는 VSS_SE-MMA (Varying Step Size_SE-MMA)에 관한 것이다. SE-MMA는 기존 MMA 적응 등화기의 탭 계수 갱신시 오차 신호의 극성만을 이용하므로 연산량을 줄이기 위하여 등장하였으나 이로 인한 등화 성능이 열화되는 문제점이 있다. VSS_SE-MMA에서는 이와 같은 SE-MMA의 문제점을 개선하기 위해 오차 신호를 고려한 스텝의 크기를 변화시켜 적응 등화기의 탭 계수 갱신에 이용하므로 이의 성능을 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 이의 개선된 성능을 확인하기 위하여 등화기 출력 정상도, 잔류 isi, 최대 찌그러짐과 MSE, 채널의 신호대 잡음비에 따른 SER을 적용하였으며, 시뮬레이션 결과 VSS_SE-MMA 알고리즘이 SE-MMA보다 수렴 속도에서 거의 비슷하면서도 정상 상태에서 모든 성능 지수에서 개선됨을 확인하였다.

Abstract This paper related with the VSS_SE-MMA (Varying Step Size_Signed Error-MMA) which possible to improving the equalization performance that employing the varying adaptive step size based on the nonlinearities of error signal of SE-MMA (Signed Error-MMA), compensates the intersymbol interference by distortion occurs at the communication channel, in the transmitting the spectral efficient nonconstant modulus signal such as 16-QAM. The SE-MMA appeared to the reducing the computational arithmetic operation using the polarity of error signal in the updating the tap coefficient of present MMA adaptive equalizer, but have a problem of equalization performance degradation. The VSS_SE-MMA improves the problem of such SE-MMA, using the varying step size consider the error signal in the update the adaptive equalizer tap coefficient, and its improved performance were confirmed by simulation. For this, the output signal constellation of equalizer, the residual isi and maximum distortion, MSE and SER were applied. As a result of computer simulation, it was confirmed that the VSS_SE-MMA algorithm has nearly same in convergence speed and has more good performance in every performance index at the steady state.

Key Words : SE-MMA, VSS_SE-MMA, residual isi, MSE, constant modulus

*정회원, 공주대학교 정보통신공학부
접수일자 : 2016년 11월 8일, 수정완료 : 2016년 12월 8일
게재확정일자 : 2017년 2월 3일

Received: 8 November, 2016 / Revised: 8 December, 2016 /

Accepted: 3 February, 2017

*Corresponding Author: sglim@kongju.ac.kr

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

I. 서 론

디지털 통신 시스템에서 송신측과 수신측간을 연결하는 유선과 무선의 통신 채널은 전송되는 신호를 신속, 정확, 충실하게 전달해 주어야 하지만, 대역 제한 특성과 진폭 및 위상 찌그러짐, 주파수 선택성 페이딩이 발생케 되어 통신 시스템의 성능을 열화시킨다. 또한 광대역 정보 전송을 위해 사용되는 변복조 방식으로는 스펙트럼 효율이 높은 신호 방식을 선호하게 되므로, 통신 채널에서 발생하는 찌그러짐에 의한 부호간 간섭의 영향이 증가된다. 부호간 간섭은 채널의 분산 시간이 입력 신호 심볼 시간보다 무시할 수 없는 경우 더욱 심각해지며, 이로 인하여 통신 시스템의 throughput이 열화되므로 최근에는 적응 등화기를 사용하여 이를 경감시키고 있다^{[1][3]}. 초기 등화기는 채널 전달 함수의 역함수가 되는 디지털 필터 시스템을 말하며, 채널 함수를 추정하기 위하여 학습열을 사용하였다. 학습열의 사용에 의한 채널의 대역폭 낭비와 전송 효율 저하가 발생되므로, 이에 의존하지 않는 블라인드 방식이 등장하였다. 블라인드 방식은 학습열을 사용하지 않는 대신 수신된 신호열과 송신 신호의 dispersion constant라는 통계적 사전 특성을 이용하여 고차 통계치나 비가우시안 입력열에 유효한 비선형성을 이용하여 nonminimum phase 채널의 등화가 가능하지만, 등화 특성이 열화되는 문제점이 있다. 블라인드 적응 등화를 위하여 좋은 수렴 성능과 채널 추적 능력 및 잡음에 대한 강인성등을 들 수 있으며, 이를 위한 알고리즘으로 CMA, RCA, MMA등을 들 수 있다^{[2][4]}. CMA는 가장 간단하지만 채널의 진폭만 보상이 가능하며 수렴 속도가 느리다. 반면 RCA는 진폭과 위상의 동시 보상이 가능하지만 연산량이 증대되고 등화 잡음이 발생된다. 반면 MMA는 진폭과 위상의 동시 보상 및 등화 잡음이 적은 반면 알고리즘의 연산량이 증가하므로, 이의 장점을 살리면서 연산량 문제를 해결하기 위한 SE-MMA가 등장하였다^{[2][5]}. 그러나 이들 방식에서는 적응 등화기의 탭 계수 갱신을 스텝 크기를 고정적으로 사용하며, 연산량 감소에 따른 등화 성능이 열화된다.

본 논문에서는 대역폭 제한 채널에서 널리 사용되고 있는 nonconstant modulus 신호인 16-QAM 신호를 송신 신호로 사용할 때 수신측의 적응 등화 알고리즘에서 스텝 크기를 변화시키므로써 SE-MMA 적응 등화 성능을 개선할 수 있는 오차 신호의 비선형성을 이용하여 가변 스텝 크기를 갖는 VSS_SE-MMA 알고리즘에 대하여

제안하며, 이의 개선된 성능을 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 성능 비교를 위한 지수로는 등화기 출력 신호 정상도, 수렴 특성을 나타내는 잔류 isi, 최대 찌그러짐과 MSE, 알고리즘의 외부 잡음에 대한 강인성을 보이기 위한 SER을 사용하였고, 정량적으로 수렴 특성 지수에서 정상 상태에 도달하기 위한 iteration 횟수가 사용되었다. 2 장에서는 적응 등화기를 적용한 통신 시스템의 모델을 설명한 후 3 장에서는 SE-MMA 알고리즘과 가변 스텝 크기에 대해 설명한 후, 4 장에서는 시뮬레이션의 과정과 결과를 제시한 후 5 장에서는 결론을 내리겠다.

II. 본 론

1. 통신 시스템 모델

그림 1은 nonconstant modulus 16-QAM을 송수신하는 통신 시스템의 기저 대역 모델을 나타낸 것으로 송수신 필터, 통신 채널, 등화기와 결정 장치로 구성되어 있으며 다음과 같은 가정을 포함하고 있다.

- (1) 송신 필터와 수신 필터는 이상적이다.
- (2) 입력 신호 s_k 는 평균 0인 2차원 정상도를 갖는다.
- (3) 미지의 SISO (Single In Single Output) 시스템인 채널 h_k 는 비최소 위상 선형 시불변으로 전달 함수는 단위원상에 영점이 존재하지 않는다.
- (4) 등화기 필터 f_k 는 탭 지연선 및 계수와와 승산기, 가산기로 구성되며 유한 차수이다.
- (5) 부가 잡음 n_k 는 평균 0, 유한 분산값을 갖는 백색 가우시안 분포한다.

송신측에서 신호 s_k 를 송신하면 대역 제한과 찌그러짐을 발생하는 임펄스 응답이 h_k 인 통신 채널을 통과하면서 잡음 n_k 이 추가된다. 수신된 신호 r_k 는 응답이 f_k 인 등화기에 입력되어 채널에 의해 발생된 찌그러짐이 보상된 출력 z_k 를 얻게 된 후, 이는 결정 장치 (decision device)에 의해 송신 신호 s_k 의 추정치인 \hat{s}_k 를 얻게 된다. 그러나 채널의 전달 특성이 시간에 따라 변동하거나 순단되는 경우 등화기는 이에 적응하면서 $s_k \approx \hat{s}_k$ 가 되도록 출력 신호 z_k 와 결정 장치의 출력 \hat{s}_k 를 이용한 modulus의 오차 신호를 이용하여 h_k 의 변동에 따른 f_k 가 $h_k \odot f_k = \delta_k$ 가 되도록 적응 알고리즘을 적용한다.

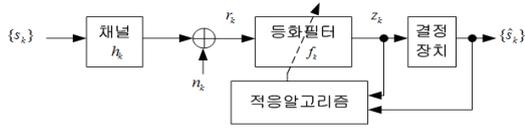


그림 1. 기저 대역 통신 시스템 모델
 Fig. 1. Baseband communication system model

2. SE-MMA 알고리즘

그림 1에서 수신 신호는 유한 계수를 갖는 등화 필터 f_k 를 통과하면서 채널 찌그러짐을 보상된 후 결정 장치를 통과시켜 복원 신호 \hat{s}_k 를 얻게 된다. 적응 등화를 위한 필터 계수 갱신에서 등화기의 출력 신호 z_k 와 송신 신호의 dispersion constant R_{MMA}^2 와의 차이로 정의되는 오차 신호를 이용한다. MMA 적응 등화 알고리즘에서는 다음의 비용 함수 J 를 최소화시키도록 반복하면서 등화기 탭 계수를 갱신한다.

$$J = E[(|z_{kr}|^2 - R_{MMA}^2)^2 + (|z_{ki}|^2 - R_{MMA}^2)^2] \quad (1)$$

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

여기서 z_{kr}, z_{ki} 은 z_k 의 실수와 허수, s_{kr}, s_{ki} 은 s_k 의 실수와 허수를 각각 나타낸다. 식(1)의 비용 함수는 1차원 CMA 비용 함수를 2개 더한 형태로 표시됨을 알 수 있으며 오차 신호와 등화 필터 계수의 갱신식은 다음과 같다.

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

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

SE-MMA는 식(2)의 MMA 오차 함수에서 이들의 부호만을 이용하여 등화 필터 계수의 갱신에 사용되기 때문에 붙여진 이름이며, 오차 함수를 쓰면 다음과 같다.

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

$$f_{k+1} = f_k - \mu e_{kSE-MMA} r_k^* \quad (3)$$

여기서 sgn 은 signum 함수를 나타내며, 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 상수가 고정될 때 탭 갱신을 위한 오차 함수의 부호만을 고려하게 되어 연산량을 줄일 수 있어 수렴 속도를 개선시킬 수 있는 장점이 있다. 그림 2는 SE-MMA 알고리즘의 내부 구조를 나타낸 것이며, 그림 3은 SE-MMA의 오차 함수를 나타낸 것이다.

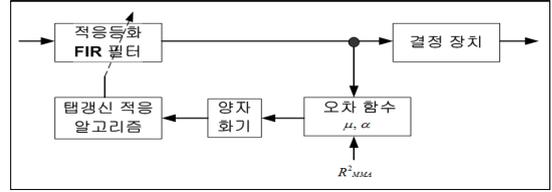


그림 2. SE-MMA 내부 구조
 Fig. 2. Internal structure of SE-MMA

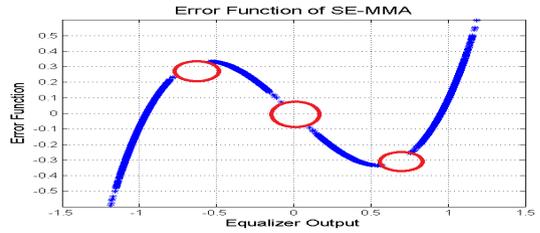


그림 3. SE-MMA 오차 함수
 Fig. 3. Error function of SE-MMA

3. Varying Step Size 개념

VSS_SE-MMA 알고리즘에서는 SE-MMA의 μ 값을 적응적으로 변화시킬 수 있는 능력을 갖는다. 적응 등화 알고리즘에서 식(3)의 오차 신호를 직접 이용하여 step size를 제어하는데 다음의 단점을 갖는다. 첫째로 수렴전에 수렴 속도를 개선시키기 위하여 가변 step size의 step 크기를 크게 한다. 또한 오차 신호는 interference에 매우 민감하다. 적응 알고리즘이 수렴한 후에도 만약 강한 채널의 interference가 존재한다면 인위적으로 오차 신호는 커질 수 있으므로 이를 막기 위하여 오차 신호를 적절한 변환 과정을 거쳐 비선형 함수를 이용한 step size 제어에 사용하므로 VSS 알고리즘의 SER 성능 열화를 방지할 수 있다. VSS_SE-MMA 알고리즘에서 식(3)의 고정 step size μ 는 다음과 같이 비선형 함수인 지수 함수를 이용하여 변환되어진다.

$$\mu_k = \beta[1 - \exp(-\alpha|\bar{e}_k|)] \quad (4)$$

여기서 β 는 proportionality factor이며 가변 step size μ_k 값을 제어하는데 사용된다. $0 \leq 1 - \exp(-\alpha|\bar{e}_k|) \leq 1$ 의 범위내에서 μ_k 값은 $0 \leq \mu_k \leq \beta$ 의 값을 갖게 된다. 그림 4는 $\beta = 0.009$, $\alpha = 16, 8, 4, 2$ 일 때 오차 신호 \bar{e}_k 에 따른 적응 step size μ_k 의 분포를 나타낸 것이다. 그림 5는 VSS_SE-MMA의 오차 함수이다.

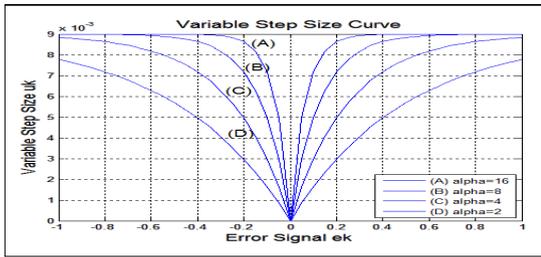


그림 4. VSS에서의 오차 신호와 스텝 변화
Fig. 4. Error signal and step variation in vss

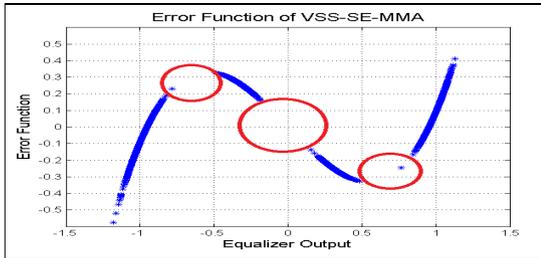


그림 5. VSS_SE-MMA 오차 함수
Fig. 5. Error function of VSS_SE-MMA

III. 컴퓨터 시뮬레이션

기존 MMA 적응 등화 알고리즘의 연산량을 줄인 SE-MMA 알고리즘에서 열화된 성능을 개선시키기 위하여 오차 신호의 비선형 특성을 이용한 varying step size를 적용한 VSS_SE-MMA 알고리즘의 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 이를 위하여 신호대 잡음비는 30dB, SE-MMA의 고정 스텝 크기 $\mu = 0.0013$ 과 동일한 채널을 적용하였다. 그림 6은 시뮬레이션을 위한 통신 채널의 임펄스 계수이며, 그림 7은 전체적인 신호 처리 과정을 나타낸 것이다.

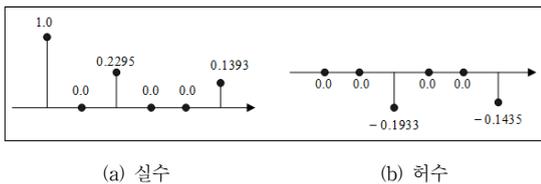


그림 6. 통신 채널의 계수
Fig. 6. Coefficient of communication channel

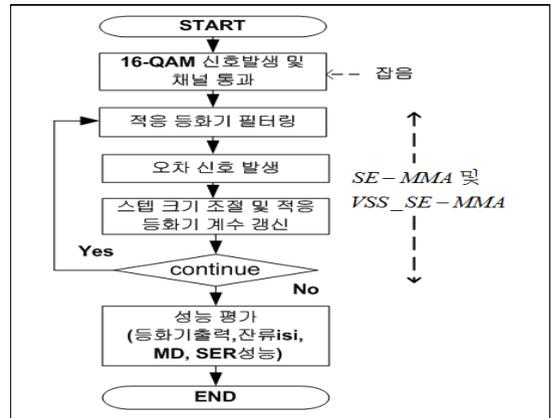


그림 7. 신호 처리 흐름도
Fig. 7. Signal processing flowdiagram

그림 8은 정상 상태에서 성능 지수인 등화기 출력 신호의 정상도를 나타낸 것이다. 정상도에서 각 신호점을 명확하게 알 수 있으며, 각 신호점간의 거리가 크며 신호점의 폭이 좁을수록 등화 능력이 우수하다. 그림에서는 VSS_SE-MMA가 고정 스텝의 SE-MMA보다 신호점간 거리와 신호점의 폭이 좁아 성능이 우월함을 알 수 있다. 적응 등화기의 성능을 나타내는 두 번째 내부 지수로 잔류 isi와 최대 찌그러짐 및 MSE를 사용하였다. 잔류 isi는 통신 채널 h_k 와 등화 필터 계수 f_k 가 완전 보상 상태에서 발생하는 잔류 성분들의 전력 크기를 나타내며, 최대 찌그러짐은 잔류 성분들의 전압 크기를 나타내고, MSE는 적응 등화기 출력과 결정 장치 출력간의 진폭 차이의 자승치로 정의된다.

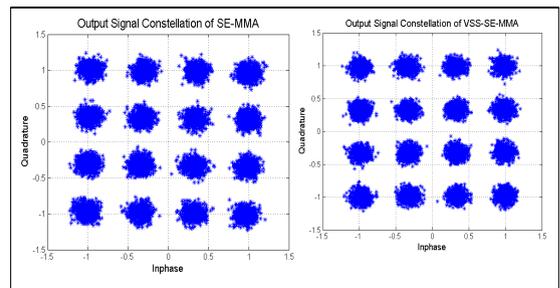


그림 8. 등화기 출력 신호 정상도
Fig. 8 Equalizer Output signal constellation

적응 등화기의 성능을 나타내는 다른 지수로 잔류 isi와 최대 찌그러짐 및 MSE를 사용하였다. 잔류 isi는 통신 채널 h_k 와 등화 필터 계수 f_k 가 완전 보상 상태에서

발생되는 잔류 성분들의 전력 크기를 나타내며, 최대 찌그러짐은 잔류 성분들의 전압 크기를 나타내고, MSE는 적응 등화기 출력과 결정 장치 출력간의 진폭 차이의 자승치로 정의된다. 이들 성능 곡선에서는 잔여 성분들의 크기뿐만 아니라 채널의 순시 변동에 신속한 적응 능력을 나타내는 수렴 시간을 알 수 있다. 그림 9는 잔류 isi의 성능을 나타내고 있으며, 적응 등화기의 정상 상태를 -20dB로 설정할 때 여기에 도달하는 수렴 속도에서 SE-MMA는 832회, VSS_SE-MMA는 940회가 소요되어 SE-MMA가 VSS_SE-MMA보다 1.2배 정도 빠름을 알 수 있다. 그림 10은 최대 찌그러짐의 성능 분포이며, 그림 11은 MSE 성능을 나타낸 것으로, 수렴 속도에서는 SE-MMA가 VSS_SE-MMA보다 빠르지만 정상 상태 이후의 잔여량에서는 VSS_SE-MMA가 SE-MMA 보다 개선됨을 알 수 있다.

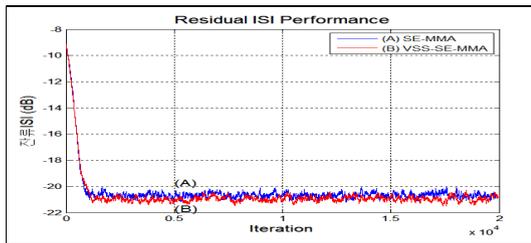


그림 9. 잔류 isi 성능
 Fig. 9. Residual isi performance

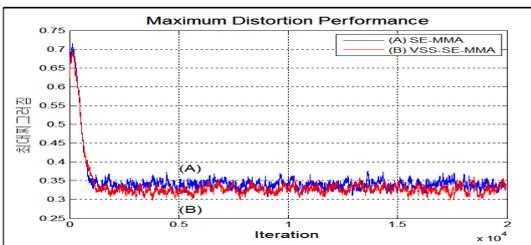


그림 10. 최대 찌그러짐 성능
 Fig. 10. Maximum distortion performance

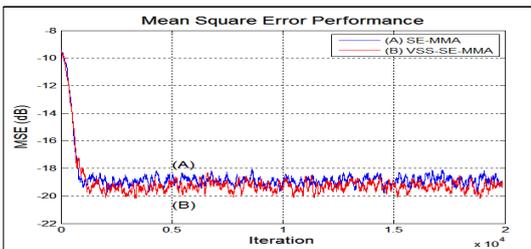


그림 11. MSE 성능
 Fig. 11. MSE performance

그림 12는 이들 적응 등화 알고리즘의 외부 잡음에 대한 강인성을 확인할 수 있는 SER 성능을 나타낸 것이다.

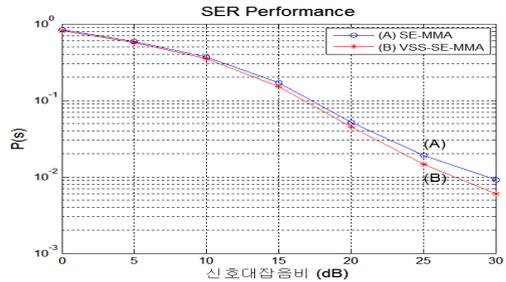


그림 12. SER 성능
 Fig. 12. SER performance

신호대 잡음비를 0~30dB까지 5dB 단위로 변화시키면서 20000개의 16-QAM 신호를 발생시켜 5회 반복시킬 때 심볼 오류율을 계산하였으며, 시뮬레이션 결과 신호대 잡음비가 증가할수록 등화 이득이 증가됨을 알 수 있어서, 오차 신호의 비선형성을 이용한 VSS_SE-MMA가 고정 스텝의 SE-MMA보다 잡음에 강함을 알 수 있다.

V. 결론

논문에서는 16-QAM과 같은 nonconstant modulus 신호에서 기존 MMA 적응 등화 알고리즘의 연산량을 단순화시킨 고정 스텝의 SE-MMA 알고리즘에 오차 신호의 비선형성을 이용한 VSS_SE-MMA 적응 등화 알고리즘의 성능을 평가하였다. 성능 평가 결과 정상 상태에서 VSS_SE-MMA가 SE-MMA보다 잔류 isi에서는 0.31dB, 최대 찌그러짐에서는 0.4dB, MSE에서는 0.4dB 정도 개선됨을 알 수 있었으며, 채널의 급변동이나 순간 같은 상황에서 정상 상태에 도달하기 위한 수렴 속도에서도 거의 유사함을 알 수 있었으며, 외부 부가되는 잡음에 대한 강인성을 확인하기 위한 SER 성능에서도 우월함이 확인되었다. 이와 같은 적응 등화 알고리즘의 성능을 충분히 이용하여 고속 광대역 통신과 같은 응용 분야에서 스펙트럼 효율이 높은 신호 방식을 사용할 때 이를 효율적으로 복원하기 위한 수신기의 부가 기술로서 높은 활용이 기대된다.

References

- [1] 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.
DOI: <https://doi.org/10.1109/JSAC.2002.1007381>
- [2] A.Ozen, I.Kaya, B.Soydal, "Variable Step-Size Constant Modulus Algorithm Employing Fuzzy Logic Controller", Wireless Pers. Commun., Vol.54, No.2, pp.237~250, July 2010.
- [3] M.Abide D., A. Ozen, "A Novel Variable Step Size Adjustment Method Based on Autocorrelation of Error Signal for the Constant Modulus Blind Equalization Algorithm", Radio Engineering, Vol.21, No.1, pp.37~45, April 2012.
- [4] Weerackody V., Kassam S.A., "Variable Step Size blind adaptive equalization algorithms", IEEE Int. Symp. on circuits and systems, pp.718~721, Vol. 1, 1991.
- [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.
- [6] Wen si-yuan, Liu Feng, "A Computationally Efficient Multi-modulus Blind Equalization Algorithm", 2nd IEEE conf. of Infor. Eng. and Management, pp.685~687, 2010.
- [7] D.S.Kang, S.G.Lim, "Performance of SE-MMA Blind Adaptive Equalization Algorithm in QAM System", Jour. on I.W.I.T., Vol.13, No.3, pp.63~69, June 2013.
- [8] S.G.Lim, "A Performance Evaluation of VSS-MMA Adaptive Equalization Algorithm using the Non-Linear Function of Error Signal for QAM System", Jour. on I.I.B.C., Vol.15, No.1, pp.131~137, Feb. 2015.
- [9] S.G.Lim, "Performance Improvement of S-MMA Adaptive Equalization Algorithm based on the Variable Step Size", Jour. on I.I.B.C., Vol.16, No.2, pp.107~112, Apr. 2016.

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>