

<http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2015.15.6.109>

IIBC 2015-6-15

고차 QAM 시스템에서 AV-MMA 적응 등화 알고리즘의 성능 평가

Performance Evaluation of AV-MMA Adaptive Equalization Algorithm in high order QAM System

임승각*

Seung-Gag Lim*

요약 본 논문은 비선형 통신 채널에서 발생하는 부호간 간섭의 영향을 최소화하기 위한 적응 등화 알고리즘인 AV-MMA(Adaptive Varying-MMA)의 성능에 관한 것이다. 고차 QAM 신호에 대한 적응 등화 알고리즘에서 탭 계수 갱신을 위한 오차 신호 발생시 기존 MMA에서 constant modulus를 이용하지만, AV-MMA에서는 등화기 출력에 따라 adaptively varying modulus를 적용하므로 이를 줄일 수 있어서 전체적인 등화 성능을 개선할 수 있다. 64-QAM 신호에 대한 AV-MMA의 개선된 등화 성능의 비교를 위하여 MMA의 성능과 비교하였으며, 이를 위하여 등화기 출력 성장도, 잔류 isi, 최대 찌그러짐과 MSE와 SER을 적용하였다. 컴퓨터 시뮬레이션의 결과 모든 성능에서는 AV-MMA가 MMA보다 우월하였고, SER 성능에서 SNR이 높은 경우 강인함을 알 수 있었다.

Abstract This paper relates with the equalization performance of Adaptive Varying-MMA (AV-MMA) in order to the minimization of intersymbol interference that is occurs in the nonlinear communication channel. In order to obtain the error signal in the tap coefficient updating process of adaptive equalization algorithm, the present MMA uses the constant modulus. But in AV-MMA, the adaptively varying modulus are used according to the equalizer output, it is possible to reduce the error signal and possible to improving the overall equalization performance. In order to improved equalization performance of the AV-MMA in the 64-QAM signal, the present MMA performance were compared. For this, the output signal constellation of equalizer, residual isi, maximum distortion, MSE and SER curves are applied. As a result of computer simulation, the AV-MMA has more better performance in the every performance index than MMA, and the SER performance shows that it has more robustness in high SNR environmnet compared to MMA.

Keywords : MMA, Adaptive Varying modulus, residual isi, MSE, maximum

1. 서 론

유선과 무선 채널을 통한 신호를 전송할 때 통신 채널의 대역 제한 특성과 비선형 특성에 의해 발생하는 부호

간 간섭의 영향으로 비트 오류 또는 심볼 오류의 원인이 되어 통신 시스템의 성능이 급격히 저하된다. 이를 줄일 수 있는 방법으로는 학습열을 사전 또는 메시지 전송 중에 이를 전송하여 채널 특성을 파악한 후 이를 보상하는

*정희원, 공주대학교 정보통신공학부 정보통신공학 전공
접수일자:2015년 9월 4일, 수정완료:2015년 11월 7일
게재확정일자: 2015년 12월 11일

Received: 4 September, 2015 / Revised: 7 November, 2015 /
Accepted : 11 December, 2015

*Corresponding Author : sglim@kongju.ac.kr

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

등화기가 널리 사용되고 있다. 그러나 학습열 전송에 의한 유효 대역폭의 낭비와 전송 효율이 저하되므로 이를 해결할 수 있는 블라인드 적응 등화 방식이 등장하였고, 대표적 알고리즘으로 CMA (Constant Modulus Algorithm)가 있다^[1]. CMA는 채널에서 발생하는 진폭 찌그러짐의 보상이 가능하며 위상이 불가능하여 별도의 위상 보상 장치인 PLL을 이용해야 하므로 이를 보완키 위하여 MMA (Multiple Modulus Algorithm)가 등장되었다. MMA는 진폭과 위상의 동시 보상 능력은 갖지만 등화 성능에서는 CMA보다 열화되므로 이를 개선할 수 있는 다양한 알고리즘이 등장하고 있다^{[2][3]}. MMA는 적응 등화기의 탭 계수 갱신을 위한 오차 신호를 얻을 때 등화기 출력과 송신 신호의 곱차 통계치인 constant modulus를 이용하지만, AV-MMA에서는 modulus를 등화기 출력 신호에 비례하여 적응적으로 변화시킴으로써 오차 신호를 더욱 적게 할 수 있으며^{[4][5]}, 이로 인하여 64-QAM과 같은 곱차 (high order) 신호에 대하여 기존의 MMA 보다 개선된 등화 성능을 얻을 수 있음을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 2장에서는 등화기를 사용하는 통신 시스템 모델과 MMA와 AV-MMA 알고리즘에 대하여 설명한 후, 3 장에서는 시뮬레이션 결과로서 주어진 통신 채널과 신호대 잡음비에서 이들 알고리즘의 등화 성능을 제시한 후, 4장에서는 결론을 내리겠다.

II. 본 론

1. 통신 시스템 모델

그림 1은 수신측에서 적응 등화기를 사용한 통신 시스템의 모델을 나타낸 것으로 송신측에서 기저 대역 신호 s_k 를 전송하면 부호간 간섭을 발생시키는 임펄스 응답 h_k 인 비선형 채널을 통하여 수신측에 전달되며, 이때 채널에서는 가우시안 잡음 n_k 이 부가된다. 수신측에서 수신 신호는 응답이 f_k 인 등화 필터에 인가되며, 여기서 통신 채널에 의한 부호간 간섭 영향을 받은 신호는 수신기의 등화 필터를 통과하면서 이의 영향을 최소화시킨 후 결정 장치를 이용하여 송신 신호의 추정치 \hat{s}_k 를 얻는다.

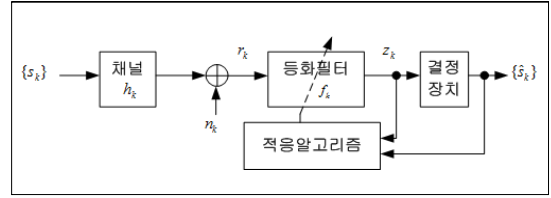


그림 1. 통신 시스템 모델

Fig. 1. Communication system model

2. Multiple Modulus Algorithm

MMA는 CMA와 RCA의 장점을 취한 등화 알고리즘을 말하며, CMA는 진폭만을 우수한 성능으로 보상할 수 있지만 위상 보상이 불가능하며, RCA는 진폭과 위상의 동시 보상이 가능하지만 등화 성능이 열화된다. 이와 같은 상반된 성능을 조합하여 이들의 동시 보상 능력과 성능 개선을 가능케 하기 위하여 MMA가 등장하였으며, 비용 함수는 2차원이 아닌 1차원의 함수로 구성되어진다. 이들은 저차 QAM 신호에 대해서는 비슷한 수렴 특성을 보이지만, 곱차 QAM 신호에 대해서는 MMA가 CMA보다 우월한 수렴 특성을 보이면서 정상 상태에서 misadjustment에 의한 영향이 적으므로 등화 잡음이 적게 된다. MMA 적응 등화 알고리즘은 등화 필터 계수 f_k 에 대한 다음의 비용 함수 J 를 최소화 시키도록 stochastic gradient algorithm을 적용하여 반복시킨다. MMA의 비용 함수와 오차 함수는 다음과 같이 정의된다.

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

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

$$\bar{e}_{kMMA} = z_{kr} (|z_{kr}|^2 - R_{MMA}^2) + j z_{ki} (|z_{ki}|^2 - R_{MMA}^2)$$

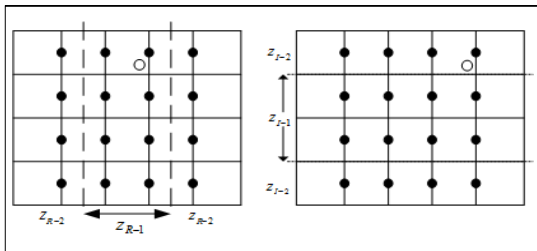
여기서 R_{MMA}^2 를 constant modulus라고 하며 등화기의 출력이 modulus 주위에 위치하도록 계수 f_k 를 갱신 한다. 식(1)의 MMA 비용 함수는 1차원적인 CMA 비용 함수를 2 개 더한 형태로 표시되므로 등화기 출력을 복소 평면에서 표시해보면 4개의 점 ($\pm R_{MMA} \pm j R_{MMA}$) 주위로 분포하게 된다. 이들을 이용하여 등화 필터의 계수는 다음과 같이 갱신되어진다. 여기서 μ 는 적응 스텝의 크기를 나타낸다.

$$f_{k+1} = f_k - \mu \overline{e_{kMMA}} r_k^* \quad (2)$$

MMA는 부호간 간섭 성분을 제거하면서 내부에 위상 추적 성능을 가지므로 위상 오차를 동시 보상할 수 있다. 그러나 고차의 QAM 신호에 대해서는 misadjustment에 의한 jitter 현상으로 성능이 열화되는 문제점이 있다. 64와 같은 고차 QAM 신호에서 이와 같은 성능 열화 문제를 해결하기 위하여 MMA의 constant modulus인 R_{MMA}^2 를 등화기의 출력 신호에 따라 변화시키는 AV-MMA 알고리즘이 동작하였다.

3. Adaptive Varying Modulus

고차 QAM 신호에서 MMA의 constant modulus를 등화에 적용하므로써 성능 저하의 문제점을 해결하기 위하여 adaptive varying modulus 개념이 등장하였다. MMA는 등화기 출력을 $\pm \sqrt{R_{2R}} + j\sqrt{R_{2I}}$ 에 위치하도록 탭 계수를 갱신하게 되지만, QAM의 차수가 클수록 modulus와의 차이가 커지므로 성능이 열화된다. adaptive varying modulus는 등화기 출력의 실수와 허수부를 나타내는 그림 2에서 해당 실수부와 허수부에 가장 유사한 maximum likelihood 원칙을 적용하고 있다.



(a) 실수부 (b) 허수부

그림 2. 16-QAM에서 실수와 허수의 Likelihood zone
 Fig. 2. Likelihood zone of real & imaginary of 16-QAM

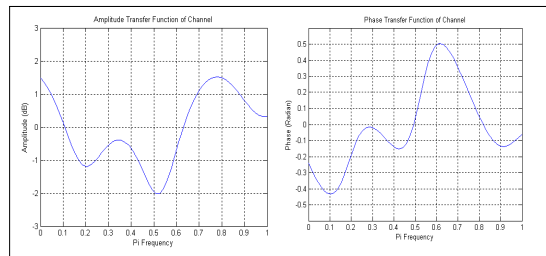
그림 (a)에서 zone 1과 zone 2에 속하는 z_{R-1}, z_{R-2} 은 신호점의 실수축에 대한 점이며, 그림 (b)에서 zone 1과 zone 2에 속하는 z_{I-1}, z_{I-2} 는 신호점의 허수축에 대한 점이다. 그림에서 "O"와 같은 등화기 출력을 얻었다면, 실수축에 대해서는 zone 2에 속하며, 허수축에 대해서도 zone 2에 속하게 되어 modulus를 적응적으로 변화시키게 된다. 이를 확장하여 64-QAM 신호에서 이와 같

은 개념을 적용한 adaptive varying modulus는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{If } z_{Rk} \in Z_{R-1} & \text{ then } \sqrt{R_{2R}} = \sqrt{R_{2I}} = \pm 0.1429 \\ \text{If } z_{Rk} \in Z_{R-2} & \text{ then } \sqrt{R_{2R}} = \sqrt{R_{2I}} = \pm 0.4286 \\ \text{If } z_{Rk} \in Z_{R-3} & \text{ then } \sqrt{R_{2R}} = \sqrt{R_{2I}} = \pm 0.7143 \\ \text{If } z_{Rk} \in Z_{R-4} & \text{ then } \sqrt{R_{2R}} = \sqrt{R_{2I}} = \pm 1 \end{aligned} \quad (3)$$

III. 컴퓨터 시뮬레이션 및 결과

16-QAM 신호에 대한 AV-MMA 적응 등화 알고리즘의 성능 분석을 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였으며, 이를 기존 MMA 알고리즘과 비교하였다. 이를 위한 시뮬레이션을 위한 파라미터로는 신호대 잡음비를 30dB, 적응 스텝 크기로 동일한 $\mu = 0.00205$, 등화 필터는 15차 FIR 필터를 적용하였다. 시분산 채널의 임펄스 계수 $h_k = [1, 0, 0.2295 - j0.1933, 0, 0, 0.1393 - j0.1435]$ 를 동일하게 적용하였고, 이의 진폭 전달 함수와 위상 전달 함수를 그림 3에 나타내었다. 진폭 전달 함수는 최대치와 최소치가 3.5dB 범위에서 전달 이득이 변화하며, 위상 전달 함수는 주파수에 따라 위상의 변화량이 불규칙적으로 변화하는 group delay를 발생시킴을 알 수 있다. 그림 4은 시뮬레이션을 위한 전체 신호 흐름도를 나타낸 것으로 송신측에서는 20000개의 16-QAM 신호를 발생한 후, 그림 3의 채널을 통과시키고 원하는 신호대 잡음비를 갖도록 잡음을 부가시켜 수신 신호를 얻었다. 수신 신호는 그림 1의 r_k 가 된 후 이를 AV-MMA와 기존 MMA 알고리즘을 적용하여 성능을 비교한다.



(a) 진폭 전달 함수 (b) 위상 전달 함수

그림 3. 채널의 주파수 전달 함수

Fig. 3. Frequency transfer function of channel

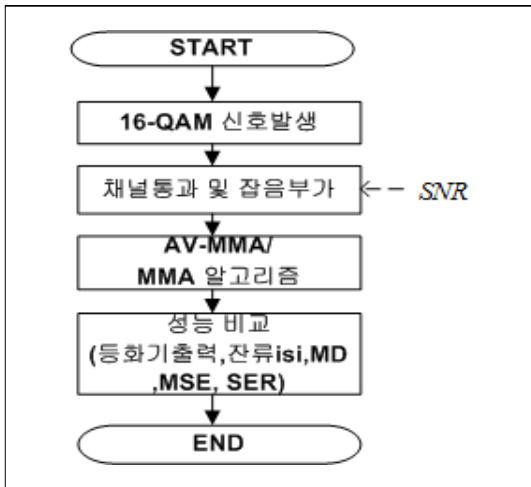


그림 4. 신호 처리 흐름도
Fig. 4. Signal processing flow

첫 번째 성능을 정량적인 성능 비교를 위하여 이들 알고리즘을 적용할 때 등화기의 출력 신호 성상도를 그림 5에 나타내었으며, 성상도에서는 신호점의 크기와 폭이 좁고 신호점간의 간격이 클수록 등화 성능이 우월하게 된다. AV-MMA의 신호점이 폭과 신호점간의 거리가 기존 MMA보다 적고 멀어짐을 알 수 있으며, 이는 판정 장치에서 발생될 오류 가능성이 줄어들게 되어 성능의 우월함을 알 수 있다.

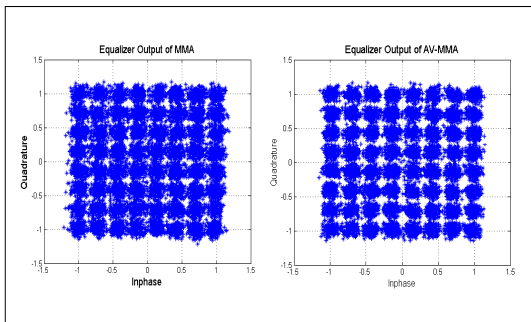


그림 5. 등화기 출력 신호 성상도
Fig. 5. Output signal constellation of equalizer

적용 등화기의 수렴 성능을 비교하기 위한 성능 지수로 잔류 isi, 최대 찌그러짐과 MSE의 learning 곡선을 사용하였으며 이들은 등화기의 성능을 나타내는데 매우 중요하다. 이들 곡선에서 얻을 수 있는 것은 초기의 과도 과정을 지나 특정한 레벨의 정상 상태 (stable state)에 도달할 때까지의 수렴 속도를 나타내는 iteration수와 그

이후의 양이다. 특히 수렴 속도는 적응 등화기가 정상적으로 동작하는 중에 채널의 상태가 급변하거나 순간적으로 절단되는 환경에서 이에 신속하게 적응하여 정상적인 통신이 이루어지기 위하여 소요되는 시간을 나타낸다.

잔류 isi는 시간 영역에서 채널과 등화기의 계수는 완전 등화 상태에서 이론적으로 임펄스 특성을 가져야 하지만, 실제적으로는 이의 특성을 갖지 못하고 잔류 성분들이 존재하게 되므로 이 잔여 성분들의 크기를 나타낸다. 그림 6은 블라인드 적응 등화기의 가장 중요한 성능 지수인 잔류 isi 성능을 나타낸 것으로서 -20dB를 정상 상태로 설정할 때 MMA는 3,230회, AV-MMA는 3,208회에 달성하므로 이들의 수렴 속도는 비슷함을 알 수 있지만, 정상 상태 이후의 잔류양에는 AV-MMA가 훨씬 적게 됨을 알 수 있다. 최대 찌그러짐 (MD)은 잔류 isi양을 전압으로 나타낸 것이며, 이들 알고리즘의 성능 곡선을 그림 7에 나타내었다. 이 지수도 정상 상태인 -0.35 [v]이하로 정의할 때 MMA는 3701회, AV-MMA는 3249회에서 달성되므로 MD 수렴 속도에서 AV-MMA가 1.14 배 빠르며, 정상 상태 이후에도 적은 찌그러짐 양을 갖는다. 또한 반복 iteration에 대한 등화기 출력과 결정 장치 출력 사이의 자승 오차로 정의되는 MSE learning 곡선을 그림 8에 나타내었다. 이 곡선에서는 진폭의 차이만을 나타내며, -21dB를 정상 상태로 정의할 때 MMA는 3965회, AV-MMA는 3282회에서 달성되므로 MSE 수렴 속도에서 AV-MMA가 MMA보다 1.2배 정도 빠름을 알 수 있으며, 정상 상태 이후에도 그 양이 적음을 알 수 있다.

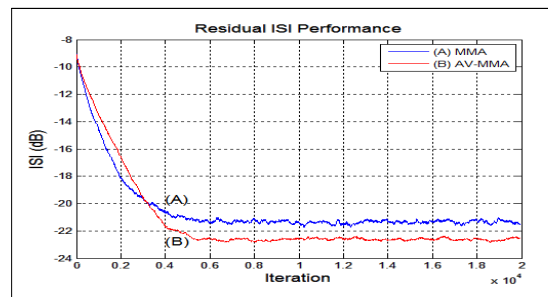


그림 6. 잔류 isi 성능
Fig. 6. Residual isi performance

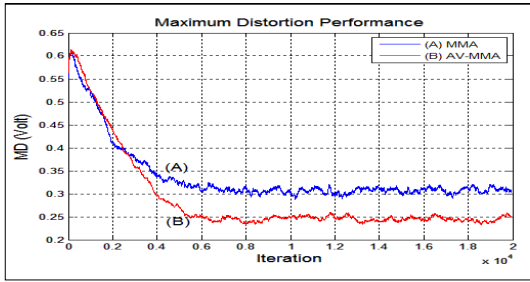


그림 7. MD 성능
 Fig. 7. MD performance

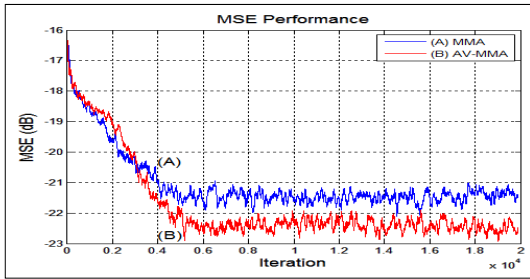


그림 8. MSE 성능
 Fig. 8. MSE performance

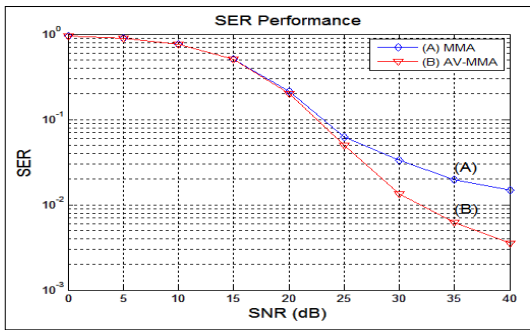
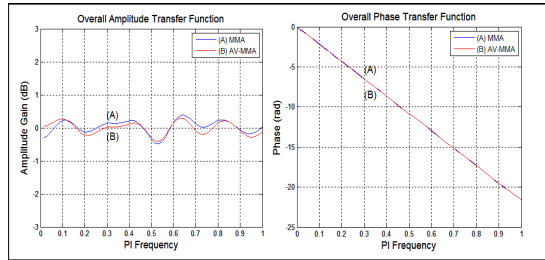


그림 9. SER 성능
 Fig. 9. SER performance

마지막 성능 지수로는 이들 적응 등화 알고리즘의 채널에서 부가되는 잡음에 대한 강인성 (Robustness)을 알 수 있는 심볼 오류율 (SER) 성능을 비교하였다. 채널에서 부가되는 신호대 잡음비를 0 ~ 40dB 까지 5dB 단위로 변화시키면서 20,000개의 심볼을 5회 simulation하였으며, 적응 등화기를 통과한 후 결정 장치가 심볼을 복원한 후 이를 송신 심볼과 비교하는 오류율을 나타낸 것이다. 시뮬레이션 결과 신호대 잡음비가 낮은 0 ~ 20dB의 범위내에서는 MMA와 AV-MMA가 비슷하지만, 그 이상의 신호대 잡음비에서는 AV-MMA가 MMA보다 오

울 성능이 월등히 우월해져서 고품질의 디지털 부호의 전송에서 유용해짐을 알 수 있다.

MMA와 AV-MMA 알고리즘에 대한 성능 지수인 등화기 출력 정상도, 잔류 isi와 최대 찌그러짐, MSE 및 SER을 비교한 결과 모든 지수에서 AV-MMA가 우월함을 확인하였다. 채널과 적응 등화기를 2단 직렬 시스템으로 간주하여 이들의 보상후의 진폭과 위상 특성을 그림 10에 나타내었으며 진폭의 보상 특성에서도 AV-MMA가 MMA 보다 더욱 평탄케 됨을 알 수 있으며, 위상 특성에서는 이들 간에는 거의 유사한 선형성을 얻을 수 있다.



(a) 진폭 전달 함수 (b) 위상 전달 함수

그림 10. 종합 주파수 전달 함수
 Fig. 10. Overall frequency transfer function

V. 결론

본 논문은 고차의 QAM 신호를 전송할 때 채널에서 발생하는 부호간 간섭에 의한 통신 시스템의 성능을 개선시킬 수 있는 MMA 적응 등화 알고리즘에서 송신 신호의 constant modulus 대신에 등화기의 출력 신호에 따라 modulus를 적응적으로 변화시키는 adaptive varying 개념을 적용한 AV-MMA 알고리즘의 적응 등화 성능에 관한 것이다. 이를 위하여 등화기 출력 신호의 정상도상에서 likelihood zone을 설정하여 zone에 해당하는 modulus를 실수부와 허수부에 독립적으로 적용하므로써 적응 등화 계수 갱신을 위한 오차 신호를 줄일 수 있으며, 특히 64-QAM과 같은 고차의 신호에서 개선된 등화 성능을 얻을 수 있었다. 개선된 성능을 확인하기 위하여 등화기 출력 신호 정상도, 등화기의 수렴 특성을 확인하기 위한 잔류 isi, 최대 찌그러짐, MSE 및 전송중에 부가되는 잡음에 대한 강인성을 나타내는 SER을 적용하여 기존 방식인 MMA와 비교하였다. 정성적인 비교 결과 그

림 5, 6, 7, 8, 9에서 AV-MMA가 기존 MMA보다 전체적인 우월성을 확인할 수 있었으며, 정량적인 비교 결과 수렴 속도에서도 최대 찌그러짐과 MSE에서 1.14~1.2배 정도 빠르며, 정상 상태 이후의 양에서도 표에 제시된 바와 같이 개선됨을 알 수 있었고, SER 성능에서도 20dB 이상의 신호대 잡음비에서 AV-MMA가 MMA보다 강건함을 알 수 있었다. 이와 같은 개선된 성능을 갖는 AV-MMA 알고리즘은 최근 급격히 증가되는 홈 네트워크와 같은 다중 경로가 존재하지만 수신 전력이 확보되는 환경의 디지털 이동 전송 분야에서 시스템의 성능을 개선시킬 수 있는 요소 기술로서 널리 사용될 것으로 기대한다.

References

- [1] Godard D.N., "Recovering equalization and carrier tracking in two-dimensional data communication systems", IEEE Trans. Com., COM-28, pp.1867~1875, Nov. 1980.
- [2] J. Yang, J. J. Werenr, G. A. Dumont, "The Multi-modulus Blind Equalization and its generalized Algorithms", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 20, No.5, pp.997~1015, 2002.
- [3] Shahzad A.Sheikh, P. Fan, "A New Multimodulus Blind Equalizer for Dense QAM Constellation", Int. conf. on WMMN, pp.1~4, 2006.
- [4] Shahzad A.Sheikh, P. Fan, "Dual Mode AVMA for Blind Equalization & Carrier Phase Recovery in Distorted Communication Channels", Int. conf. on ITS Telecommunications, pp.850~853, June 2006.
- [5] Shahzad A.Sheikh, P. Fan, "Joint Blind Equalization & Carrier Phase Recovery based on Adaptively Varying Modulus Algorithm (AVMA)", 9th IEEE Int. Multi-topic Conf., INMIC, Dec. 2005.
- [6] Lin He, M. G. Amin, C. R. Jr, R. C. M alkemes, "A Hybrid Adaptive Blind Equalization Algorithm for QAM Signals in Wireless Communications", Vol. 52, No.7, pp. 2058~2069, July 2004
- [7] S. G. Lim, D. S. Kang, "Performance of SE-MMA Blind Adaptive 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 정보통신

공학부 교수.

<주관심분야 : 방송/통신 시스템, 이동통신>