

<https://doi.org/10.7236/IIBC.2018.18.2.111>

IIBC 2018-2-13

Multilevel QAM 신호 전송에서 RMMA와 SCA 적응 등화 알고리즘의 성능 비교

A Performance Comparison of RMMA and SCA Adaptive Equalization Algorithm in Multilevel QAM Signal Transmission

임승각*

Seung-Gag Lim*

요약 본 논문은 Multilevel QAM 신호의 전송시 채널에서 발생하는 부호간 간섭을 최소화시키기 위한 RMMA (Region-based MMA)와 SCA (Square Contour Algorithm) 적응 등화 알고리즘의 성능 비교에 관한 것이다. RMMA는 Multilevel QAM 신호의 등화시 기존 MMA 알고리즘에서 안정성과 4-level의 constant modulus로 변환하여 성능을 개선키 위하여 사용되며, SCA는 기존 CMA와 RCA를 조합하여 등화 성능을 개선키 위하여 사용된다. 이들은 서로 상이한 원리를 적용하여 등화 성능을 개선하고 있으므로, 논문에서는 이들의 성능을 동일한 채널 환경에 적용하여 비교하였다. 이를 위한 성능 지수로는 등화기 출력 정상도, 잔류 isi, 최대 찌그러짐을 적용하였다. 컴퓨터 시뮬레이션 결과 모든 성능에서는 RMMA가 SCA보다 신호점 군집 능력과 수렴 속도에서 우월하며, misadjustment에 의한 등화 잡음이 감소함을 알 수 있었다.

Abstract This paper compare the adaptive equalization performance of RMMA (Region-based MMA) and SCA (Square Contour Algorithm) in order to minimize the intersymbol interference that is occurred in communication channel when transmit the multilevel QAM signal. The RMMA used for improving the performance by translate to 4-level constant modulus and stability in current MMA algorithm, and the SCA used for the improving the performacne by combines the current CMA and RCA algorithm. These algorithms are aimed to improving the equalization performace by applying the differcnt principle each other in multilevel QAM signal, its different performance were compared by computer simulation in the same channel environment. For this, the output signal constellation of equalizer, residual isi, maximum distortion were applied in performance index. As a result, RMMA have more fairly good in every performance index such as signal point clustering capabilities and convergence speed compared to SCA. It is confired that the equalization noise due to misadjumstment was reduced in RMMA than SCA.

Keywords : CMA, RMMA, SCA, residual isi, MSE

*정희원, 공주대학교 정보통신공학부 정보통신공학전공
접수일자 : 2018년 1월 16일, 수정완료 : 2018년 2월 28일
게재확정일자 : 2018년 4월 6일

Received: 16 January, 2018 / Revised: 28 February, 2018

Accepted: 6 April, 2018

*Corresponding Author: sglim@kongju.ac.kr

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

I. 서 론

대역폭 제한 채널에서 고속, 대용량의 디지털 정보 전송을 위해서는 multilevel QAM과 같은 대역폭 효율이 높은 신호 방식의 사용이 필수적이다. 그러나 level수가 16 이상으로 증가할수록 전송 효율은 증가하지만 채널에서 발생하는 비선형 찌그러짐에 의한 부호간 간섭도 증가되어 비트 오류 또는 심볼 오류에 의한 재전송 또는 오류 정정에 의한 통신 시스템의 throughput이 열화되면서 서비스 QoS 및 최대 가용 전송율도 감소된다^[1].

이를 해결하기 위해서는 전송 신호의 대역폭을 채널 보다 좁게 하기 위한 선로 부호화나 수신측에서 적응 등화기를 사용하는 방안을 들 수 있다. 첫 번째 방법은 전송 속도를 제한시키게 되어 고속, 대용량의 전송에는 적합하지 않으므로 오늘날 대부분의 통신 시스템에서는 두 번째 방법인 적응 등화기를 사용하는 것이다. 적응 등화기는 시스템이 초기화중 채널에서 장애가 발생하거나 채널 특성의 변화에 스스로 적응하면서 채널의 역전달 특성을 추적하여 이에 비선형 찌그러짐을 스스로 보상할 수 있는 능력을 갖는 등화기로서 통신 시스템의 설계자들에게 많은 관심을 갖는 분야이다. 적응 등화를 위한 대표적인 알고리즘으로 CMA, RCA 및 MMA등을 들 수 있다. CMA는 원하는 수렴 조건을 만족하기 위해 LMS와 같은 단순함을 갖지만 이의 비용 함수는 진폭 의존적이어서 등화기 출력이 위상 보상을 위한 별도의 위상 추적 장치가 필요하다^{[7][9]}. 반면 RCA는 진폭과 위상의 동시 보상이 가능하지만 초기 수렴이 보장되지 않으며 등화 성능이 열화되고, MMA는 진폭과 위상의 동시 보상과 신뢰할 수 있는 초기 수렴 특성을 얻을 수 있으며 이들은 4-QAM과 같은 constant modulus 신호에서 최적의 등화 성능이 얻어진다. 그러나 16-QAM과 같은 nonconstant modulus 신호에서 이들 방식들은 등화 성능이 열화되므로 여러 가지의 변형 알고리즘이 등장하였으며 RMMA와 SCA를 들 수 있다^{[2][7][8]}. RMMA는 기존 MMA를 수정하여 16개의 신호 성상도를 4개의 신호 영역으로 분할한 후 영역별로 constant modulus 신호로 변환하여 적응 등화를 수행하며, SCA는 CMA와 RCA 및 MMA의 상호 상반된 특성을 결합시켜 원래의 방식들이 갖는 틀린 해를 위한 수렴 가능성을 줄여 적응 등화 성능을 개선시킨다.

본 논문에서는 16-QAM 신호의 nonconstant modulus

특성을 갖는 경우에 RMMA와 SCA 알고리즘의 적응 등화 성능을 동일한 채널 환경에서 시뮬레이션을 통해 직접 비교한다. 논문의 구성으로 2장에서는 적응 등화기를 사용하는 통신 시스템의 모델 및 이들 알고리즘에 대해 설명한 후, 3장에서는 시뮬레이션을 위한 과정과 결과를 제시하며, 4장에서는 최종 결론을 내리겠다.

II. 본 론

1. 통신 시스템 모델

적응 등화 알고리즘에 의한 등화기를 사용한 기저 대역 통신 시스템의 모델을 그림 1에 나타내었다. 송신측에서 16-QAM의 기저 대역 신호 s_k 를 전송하면 부호간 간섭을 발생시키는 임펄스 응답 h_k 인 비선형 채널을 통하여 수신측에 전달되며, 이때 주어진 신호대 잡음비의 가우시안 잡음 n_k 이 추가된다. 수신측에서 수신 신호 r_k 는 계수가 f_k 인 등화 필터에 인가되어 부호간 간섭과 잡음 영향이 최소화된 출력 신호 z_k 는 결정 장치 (decision device)에서 송신 신호의 추정치 \hat{s}_k 를 얻는다. 이 과정에서 등화 필터의 계수는 등화기 출력 신호 z_k 와 결정 장치의 출력 신호 \hat{s}_k 의 차이 신호를 이용하여 적응 알고리즘 부에서 자동으로 계산되어져 다음 수신 신호 r_{k+1} 의 부호간 간섭과 잡음양을 최소화하는데 사용된다. 이상적으로 완전 등화가 이루어지는 경우 다음의 관계식이 성립된다.

$$h_k^* f_k = \delta_k \tag{1}$$

$$H(\omega) \cdot F(\omega) = 1$$

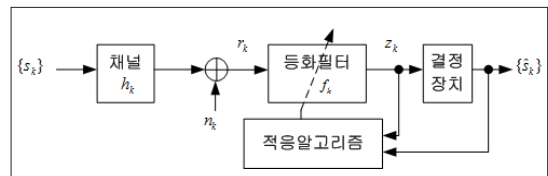


그림 1. 통신 시스템 모델

Fig. 1. Communication system model

2. RMMA (Region-based MMA)

RMMA는 고차 QAM 신호에서 MMA의 nonconstant modulus를 등화에 적용하므로써 성능 저하의 문제점을

해결하기 위하여 Shalvi-Weinstein Algorithm의 등화 안정성과 nonconstant modulus 신호를 constant modulus 신호로 변환하는 이중 모드 알고리즘이다^[4]. 등화 안정성을 위하여 입력 벡터 R_k 의 euclidean norm의 자승치에 반비례하는 시변 step size를 갖는 Normalized-MMA 개념과 송신 신호의 추정치를 이용하지 않고 등화기 출력에 비례하는 오차에 의해 탭 계수를 갱신하게 된다. 먼저 Normalized-CMA에서 탭 계수 갱신식은 다음과 같다.

$$f_{k+1} = f_k + \frac{\mu}{\delta + \|R_k\|^2} [d_k - z_k] R_k^* \quad (2)$$

δ 는 매우 적은 양의 정수, $\| \cdot \|$ 은 \cdot 의 euclidean norm이며 d_k 와 z_k 는 원하는 응답의 추정값을 나타내고 이들은 다음의 관계가 있다.

$$d_k = x_k z_k, \quad x_k = \begin{cases} (\alpha \sigma_s^2 - |z_k|^2) \\ (\alpha \sigma_s^2 - R) \\ 0 \end{cases}, \quad |z_k|^2 \leq \alpha \sigma_s^2 \quad (3)$$

, 기타

$\sigma_s^2 = E[|s_k|^2]$, $R = E[|s_k|^4]/E[|s_k|^2]^2$, $\alpha = 2$ 또는 3 이 된다. 식(2)의 Normalized-CMA를 MMA로 확장시켜 비용 함수를 적용하면 $d_k - z_k$ 를 $[d_{Rk} + j d_{Ik}] - [z_{Rk} + j z_{Ik}]$ 로 대체할 수 있다. 그림 2와 같이 복소 평면을 $M/4$ 개의 4-QAM region으로 분할한 후 각 region A_k 는 4개의 심볼점을 포함하고 있으며, 그 중앙에는 $c_k = c_{Rk} + j c_{Ik}$ 라는 심볼점이 존재한다. 등화기 출력이 어느 region에 속하며, 그 중앙값을 알 수 있으므로, 이를 이용하여 다음의 변환이 필요하다. region 중앙값을 복소 평면 원점으로 이동시켜 4-QAM 신호로 취급하고, 변환 신호 $\bar{z}_k = \overline{z_{Rk} + j z_{Ik}}$ 는 $\bar{z}_k = (z_{Rk} - c_{Rk}) + j(z_{Ik} - c_{Ik})$ 의 관계가 있으므로 변환된 후 특정 region내 심볼점인 $a_{krm} = \pm 1 \pm j1$ 의 신호 형태가 된다. 이와 같은 RMMA의 순간 비용 함수는 다음과 같다.

$$J = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^{M/4} \alpha_i \{ |c_{Ri}| [1 - \overline{z_{Ri}^2}]^2 + |c_{Ii}| [1 - \overline{z_{Ii}^2}]^2 \} \quad (4)$$

여기서 식별되어진 region A_k 에서는 $\alpha_1 = 1$ 이 되며, 나머지 region에서는 $\alpha_1 = 0$ 가 된다. 또한 곱셈 인자인 $|c_{Ri}|, |c_{Ii}|$ 는 변환 이전의 region 정보를 제공하게 된다. 식

(4)의 순간 비용 함수에 의한 오차 함수는 다음과 같다.

$$e_1(k) = |c_{R1}| [\overline{d_{R1}}(k) - \overline{z_{R1}}(k)] + j |c_{I1}| [\overline{d_{I1}}(k) - \overline{z_{I1}}(k)] \quad (5)$$

$$\overline{d_{R1}}(k) = \overline{x_{R1}}(k) \overline{z_{R1}}(k), \quad \overline{d_{I1}}(k) = \overline{x_{I1}}(k) \overline{z_{I1}}(k)$$

$$\overline{x_{R1}}(k) = 1.5 - 0.5 \overline{z_{R1}^2}(k), \quad \overline{x_{I1}}(k) = 1.5 - 0.5 \overline{z_{I1}^2}(k)$$

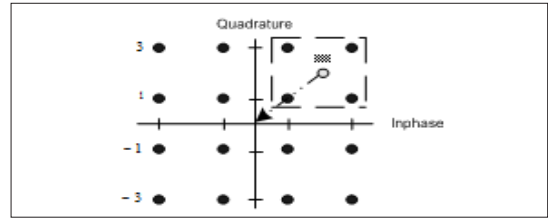


그림 2. RMMA의 신호점 변환
 Fig. 2. Signal point translation of RMMA

그림 3은 MMA와 RMMA 알고리즘의 오차 함수를 나타낸 것으로 이들 모두 기함수 분포임을 알 수 있다. 특히 RMMA는 등화기 출력이 0인 경우 오차 함수가 이산적이 되는데, 이는 식별되어진 영역을 중심으로 그 중앙값을 영점에 일치시키는 심볼점 변환에 의해 발생된다.

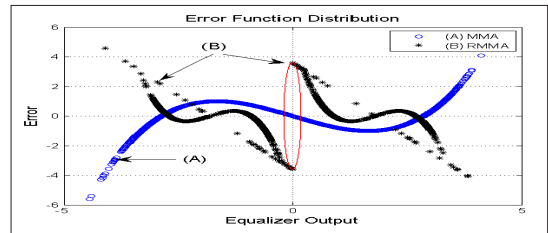


그림 3. MMA와 RMMA의 오차 함수
 Fig. 3. Error function of MMA and RMMA

3. SCA (Square Contour Algorithm)

일반적으로 CMA 알고리즘에서는 등화기 출력에 영오차 윤곽선에서 반경 R_{CMA} 인 원주 상에 위치하도록 등화기 계수를 조절하는 반면 SCA 알고리즘에서는 그림 4와 같이 square contour 상에 위치하도록 등화기 계수를 조절하며, 이때 square 상에 신호점이 위치하므로 진폭과 위상을 표현할 수 있게 되어 이들의 보상이 가능하게 된다^{[2][6][7]}. SCA 알고리즘에서 비용 함수는 다음의 식(6)과 같다.

$$J_{SCA} = E \{ (|z_{kr} + z_{ki}| + |z_{kr} - z_{ki}|)^p - R_{SCA}^p \}^2 \quad (6)$$

여기서 p 는 양의 정수로서 2 이고 R_{SCA} 는 constellation dependent constant 또는 dispersion constant이며 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} |z_{kr} + z_{ki}| + |z_{kr} - z_{ki}| &= 2 \max\{|z_{kr}|, |z_{ki}|\} \\ \max\{|z_{kr}|, |z_{ki}|\} &= \frac{R_{SCA}}{2} \end{aligned} \quad (7)$$

이를 이용하여 등화기의 탭 계수 갱신을 위한 오차 함수는 식(8)과 같다.

$$\begin{aligned} \overline{e_{kSCA}} &= ((|z_{kr} + z_{ki}| + |z_{kr} - z_{ki}|)^p - R_{SCA}^p)(|z_{kr} + z_{ki}| + |z_{kr} - z_{ki}|)^{p-1} \\ &\times (\text{sgn}[z_{kr} + z_{ki}](1+j) + \text{sgn}[z_{kr} - z_{ki}](1-j)) \end{aligned} \quad (8)$$

상수 R_{SCA} 는 송신 신호가 independent identical distribution이고 등화기 출력이 송신 심볼과 같아지는 완전 등화가 되는 정상 상태인 $E[\overline{e_k X_k^*}] = 0$ 로 설정하여 얻을 수 있으며

$$\begin{aligned} R_{SCA}^p &= \frac{E\{(|s_{kr} + s_{ki}| + |s_{kr} - s_{ki}|)^p \cdot Q\}}{E\{Q\}} \\ Q &= (|s_{kr} + s_{ki}| + |s_{kr} - s_{ki}|)^{p-1} (\text{sgn}[s_{kr} + s_{ki}](1+j) + \text{sgn}[s_{kr} - s_{ki}](1-j))s_k^* \end{aligned} \quad (9)$$

가 되고 식(8)의 오차 함수를 이용하여 SCA 알고리즘에서도 등화 필터의 계수를 갱신한다.

$$f_{k+1} = f_k - \mu \overline{e_{kSCA}} r_k^* \quad (10)$$

III. 컴퓨터 시뮬레이션 및 결과

고차 16-QAM 신호 전송시 비선형 통신 채널에서 발생하는 부호간 간섭에 의한 찌그러짐과 부가 잡음에 대한 수신 능력을 개선할 수 있는 적응 등화 알고리즘인 RMMA와 SCA의 등화 성능을 비교하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 알고리즘은 Matlab를 이용하여 구현하였으며, 시뮬레이션 파라미터로 RMMA에서 $\delta = 1e-6$, $\mu = 0.025$, SCA에서 $\mu = 0.006$ 이며 적응 필터의 차수는 17차 FIR, 신호대 잡음비로는 30dB를 적용하였다. 그림 4는 부호간 간섭의 원인이 되는 찌그러짐을

발생시키는 채널의 응답 계수 h_k 를 나타낸 것이다. 송신 측에서는 20000개의 16-QAM 신호를 발생한 후, 그림 4의 실수와 허수부 계수를 갖는 채널을 통과시키고 원하는 SNR을 갖도록 잡음을 부가시켜 수신 신호 r_k 를 얻었다. 이 신호를 이용하여 적응 필터를 통과시켜 출력 신호 z_k 를 얻은 후 결정 장치를 이용하여 송신 신호를 복원한 \hat{s}_k 를 얻으며, 이들 간의 오차 신호를 이용하여 RMMA와 SCA 알고리즘을 이용하여 등화기 계수 f_{k+1} 를 갱신한다.

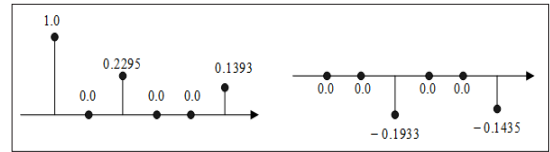


그림 4. 채널 계수

Fig. 4. Channel coefficient

이들 알고리즘의 적응 등화 성능을 비교를 위하여 적응 등화기 출력 신호의 정상도, 잔류 isi, 최대 찌그러짐을 적용하였다. 첫 번째 지수인 등화기 출력 신호의 정상도에서는 이들 알고리즘의 신호점 군집 능력 (clustering)을 정성적으로 나타내며, 잔류 isi와 최대 찌그러짐에서는 정상 상태에 도달하기 위한 수렴 속도와 정상 상태 이후의 잔여량을 정성적, 정량적으로 나타낸다. 그림 5는 정상 상태에서 적응 등화기 출력 신호의 정상도를 나타낸 것으로 송신 신호점인 실수와 허수부가 +1, -1, +3, -3을 중심으로 총 16개의 신호점이 언어짐을 알 수 있어서 적응 알고리즘의 신호점 군집 능력 (clustering)을 알 수 있다. 그러나 등화기 출력 신호점이 송신 신호점을 기준으로 어느 정도 벗어나는 정도에 따라 이들 알고리즘의 우월성을 알 수 있다. 출력 신호점의 폭이 좁으면서, 신호점간의 거리가 클수록 우수한 성능의 알고리즘이 된다.

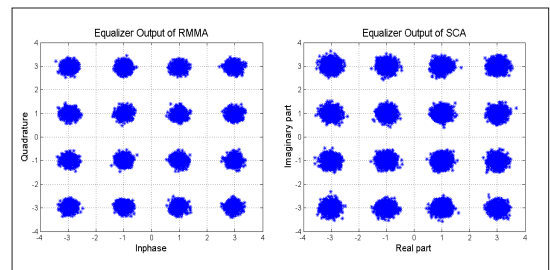


그림 5. 등화기 출력 신호 정상도

Fig. 5. Output signal constellation of equalizer

그림에서 RMMA가 SCA의 신호점보다 폭은 좁고 신호점 간 거리에서 넓어지므로 양호한 성능을 갖는다. 두 번째 수렴 성능 비교하기 위하여 잔류 isi, 최대 찌그러짐 성능 곡선을 사용하였다. 이들 곡선에서 얻을 수 있는 것은 적응 초기의 과도 과정을 지나 특정한 레벨의 정상 상태 (stable state)에 도달할 때까지의 수렴 속도와 그 이후의 양이다. 잔류 isi는 시간 영역에서 채널과 등화기의 계수는 완전 등화 상태에서 이론적으로 임펄스 특성을 가지거나, 주파수 영역에서 채널과 등화기의 종합 주파수 전달 특성은 평탄해야 된다. 그러나 실제적으로 이들은 완전한 임펄스 특성을 갖지 못하므로 가장 큰 성분을 제외한 잔류 성분들의 전력 크기를 나타내며, 최대 찌그러짐은 잔류 성분들의 전압 크기를 나타낸다. 그림 6은 반복 횟수에 대한 잔류 isi 성능을 나타낸 것으로서 -20dB의 정상 상태에 도달할 때 RMMA는 836회, SCA는 999회에 달성하므로 이들의 수렴 속도는 RMMA가 SCA보다 약 1.2배 정도 빠르고, 정상 상태 이후의 잔류 양도 적으며 misadjustment에 의한 등화 잡음이 적다.

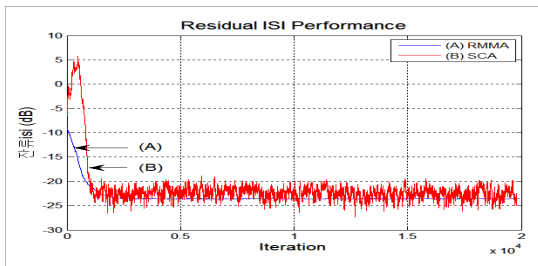


그림 6. 잔류 isi 성능
 Fig. 6. Residual isi performance

그림 7은 반복 횟수에 대한 최대 찌그러짐 성능을 나타낸 것으로서 -10dB의 정상 상태에 도달할 때 RMMA는 991회, SCA는 1018회에 달성하므로 이들의 수렴 속도는 RMMA가 SCA보다 약 1.02배 정도 빠르며 정상 상태 이후의 잔류양도 적으며 misadjustment에 의한 등화 잡음이 적음을 알 수 있다. 특히 SCA에서는 적응을 위한 초기 수렴 특성에서 비용 함수와 신호점간의 mismatch에 의한 잔류 isi와 최대 찌그러짐이 RMMA보다 매우 크지만 반복될수록 안정된 수렴 성능을 가짐을 알 수 있다.

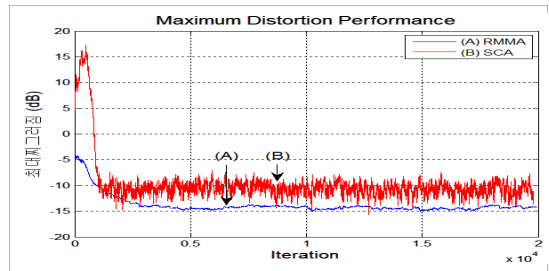


그림 7. 최대 찌그러짐 성능
 Fig. 7. Maximum distortion performance

표 1은 그림 6 과 7에 나타낸 성능 지수들에 대한 전체적인 평균값을 나타낸 것으로 두가지 성능 지수의 평균값에서 RMMA가 SCA 보다 적게 되어 적응 등화 성능의 우수성을 알 수 있다.

표 1. 성능 지수의 통계값
 Table 1. Statistic values of performance index

	RMMA	SCA
잔류 isi	0.0063	0.0601
최대찌그러짐	0.2107	0.4505

V. 결론

본 논문에서는 nonconstant modulus 특성을 갖는 고차 QAM 신호를 전송할 때 채널에서 발생하는 부호간 간섭과 잡음의 영향을 경감시키기 위한 RMMA와 SCA 적응 등화 알고리즘의 성능을 비교하였다. RMMA는 고차 QAM 신호를 영역 식별에 의해 4-QAM의 constant modulus 신호로 변환하는 비용 함수를 적용하는 원리로 nonconstant modulus 신호에서 열화되는 등화 성능을 개선하며, SCA는 기존의 CMA, RCA 및 MMA의 장점들만을 결합시켜 nonconstant modulus 신호에 대한 등화 성능 개선을 목표로 한다. 송신 신호로 nonconstant modulus 인 16-QAM을 사용하여 동일 채널 환경에서 부호간 간섭 및 잡음을 부가하여 전송시킨 후 수신측에서 이들 알고리즘을 적용하여 적응 등화 성능을 비교하였다. 이를 위하여 등화기 내부 성능 지수인 출력 신호 성장도, 잔류 isi와 최대 찌그러짐을 적용하였다. 시뮬레이션 결과 등화기의 신호점 군집 능력을 나타내는 신호점 성장도에서 출력되는 신호점의 폭과 거리에서 RMMA가 SCA보다 우월하였다. 잔류 isi와 최대 찌그러짐 성능에

서 RMMA가 SCA보다 정상 상태에 도달하기 위한 수렴 속도에서 약 1.02 ~ 1.4배 정도 빠르고 정상 상태 이후의 잔여량에서도 적어짐을 정성적, 정량적으로 확인하였다. 또한 알고리즘의 비용 함수와 신호점의 misadjustment에 의한 등화 잡음도 상당히 감소됨을 알 수 있었다. 이와 같은 시뮬레이션 결과 RMMA 알고리즘은 충분한 송신 전력의 사용이 불가능하거나 다중 경로 전파에 의한 부호간 간섭이 지배적인 홈 네트워킹 시스템과 같은 실내 이동 통신 환경에서 전송 시스템의 성능을 개선시킬 수 있는 수신기의 요소 기술로서 널리 사용될 것으로 기대된다.

References

- [1] J.Yang, J.J.Weren, G.A.Dumont, "The Multimodulus Blind Equalization Algorithm", 13th Int. Conf. D.S.P. Processing, pp.127~130, 1997.
DOI : 10.1109/ICDSP.1997.627988
- [2] T.Thaiupathump, S.A.Kassam, "Square contour algorithm : A New Algorithm for blind equalization & Carrier Phase Recovery", of QAM signals", Proc. IEEE Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, pp.647~651, 2003.
DOI: 10.1109/ACSSC.2003.1291991
- [3] S.A.Sheikh, P.Fan, "New blind equalization techniques based on improved square contour algorithm", Jour. of Digital Signal Processing, pp.680~693, Sep. 2007.
- [4] J.M.Filho, M.T.M.Silva, M.D.Miranda, V.H.Nascimento, "A Region-based Algorithm for Blind Equalization of QAM Signals", IEEE/15th workshop on statistical signal processing, pp.685~688, 2009.
DOI: 10.1109/SSP.2009.5278484
- [5] S.Abrar, A.Amin, F.Siddiq, "Stop-and-Go Square-Contour Blind Equalization Algorithms : Design and Implementation", Proc. IEEE Inter. Conf. on Emerging Technologies, pp.157~161, Sep. 17-18, 2008.
DOI: 10.1109/ICET.2005.1558872
- [6] S.A.Sheikh, P.Fan, "Improved Square Contour Algorithm for Blind Equalization of QAM Signals", IEEE Int. Multitopic Conferences, pp.116~119, 2006.
DOI: 10.1109/TNMIC.2006.358147
- [7] T.Thaiupathump, Lin He, S.A.Kassam, "Square contour algorithm for blind equalization of QAM signals" Jour. of Digital Signal Processing, pp.3357~3370, March 2006.
- [8] S.G.Lim, "A Performance Evaluation of RMMA Adaptive Equalization Algorithm in 16-QAM Signal", Jour. of I.I.B.C., Vol.15, No.2, pp.99~104, April 2015.
- [9] 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, Apr. 2012.

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>