

<http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2015.15.1.139>

IIBC 2015-1-18

QAM 신호에서 Distance Adjusted Approach를 이용한 VSCA와 VSDA 적응 등화 알고리즘의 성능 비교

A Performance Comparison of VSCA and VSDA Adaptive Equalization Algorithm using Distance Adjusted Approach in QAM Signal

임승각*

Lim Seung Gag*

요 약 본 논문은 16-QAM 신호 전송시 시분산 채널에서 발생하는 부호간 간섭을 줄이기 위해 사용되는 적응 등화 알고리즘인 VSCA (Variable stepsize Square Contour Algorithm)와 VSDA (Variable stepsize Square contour Decision directed Algorithm)의 성능 비교에 관한 것이다. SCA 에서는 송신 신호의 2차 통계치인 Constellation Dependent Constant를 이용하여 수신 신호의 진폭과 위상을 보상하지만, 이들 VSCA와 VSDA에서는 constellation matching을 위한 distance adjusted approach 개념을 이용한 step size를 변화시켜 적응 등화 성능을 더욱 개선시킨 것이다. 논문에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 VSCA와 VSDA의 성능을 비교하였으며, 이를 위한 성능 지수로는 등화기 출력 신호 성장도, 잔류 isi양, 최대 찌그러짐 및 MSE를 사용하였다. 이들 알고리즘의 성능 비교 결과 모든 비교 지수에서 VSCA 알고리즘이 VSDA보다 우월함을 확인하였다.

Abstract This paper compare the VSCA (Variable stepsize Square Contour Algorithm) and VSDA (Variable stepsize Square contour Decision directed Algorithm) adaptive equalization algorithm that is used for the minimization of the intersymbol interference which occurs in the time dispersive channel for the transmission of 16-QAM signal.. In the SCA, it is possible to compensates the amplitude and phase in the received signal that are mixed with the intersymbol interference by the constellatin dependent constant by using the 2nd order statistics of the transmitted signal. But in the VSCA and VSDA, it is possible to the improving the equalization performance by varing the stepsize using the concept of distance adjusted approach for constellation matching. We compare the performance of the VSCA and VSDA algorithm by the computer simulation. For this, the equalizer output signal constellation, residual isi, maximum distortion and MSE were used in the performace index. As a result of computer simulation, the VSCA algorithm has better than the VSDA in every performance index.

Key Words : SCA, VSDA, VSCA, maximum distortion, distance adjustment

*정회원, 공주대학교 정보통신공학전공
접수일자 : 2014년 11월 3일, 수정완료 : 2014년 12월 7일
게재확정일자 : 2015년 2월 13일,

Received: 3 November, 2014 / Revised: 7 December, 2014 /

Accepted: 13 February, 2015

*Corresponding Author : sglim@kongju.ac.kr

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

I. 서 론

언제 (Any time), 어디서나 (Any where), 어떠한 정보 (Any media)라도 시간과 공간을 초월하여 자유롭게 주고 받을 수 있는 이동 통신 시스템에서 무선 전파의 사용은 필수적이다. 그러나 송신국과 수신국간을 연결하는 전파 매체는 유한한 자원인 이의 전송 특성은 기술적으로 난제를 포함하고 있으며, 이로 인해 전파를 통한 고속, 광대역의 실시간 정보 전송에는 한계가 있다. 무선 전송을 방해하는 주된 요인으로는 대역 제한 특성과 다중 경로에 의한 페이딩 및 잡음등을 들 수 있으며, 이들은 전송 부호에 부호간 간섭을 일으키는 주된 원인이 되므로 수신측에서 이의 영향을 최소화시켜 최적 통신 throughput을 얻기 위한 별도의 대책이 필요하게 된다. 현재까지 사용되고 있는 대책으로는 최적 송수신 필터 사용, diversity 수신 기법, OFDM, Partial Response Coding, Matched Filter 기법과 적응 등화기등을 들 수 있다^{[1][7]}. 그러나 이들은 장단점을 갖기 때문에 최소의 부담으로 throughput 저하를 줄일 수 있는 대책으로 적응 등화기가 널리 사용되고 있다. 원래 등화기는 통신 채널의 역전달 특성을 갖는 시스템 또는 필터를 말하지만 채널의 특성이 고정된 경우에 사용되어 왔다. 그러나 이동 채널과 같이 전달 특성이 수시로 변동하는 경우 등화기의 역전달 특성도 같이 변해야 하므로 이를 위하여 적응 등화기가 등장하였다. 적응 등화기는 송수신측이 상호 약속된 학습열을 일정 시간 간격으로 전송하는 방식으로 등화기의 문제점을 해결할 수 있지만 학습열 전송에 의한 전송 효율 저하와 이로 인한 전송 대역폭이 낭비되므로 이를 해결할 수 있는 blind 방식이 등장하였다. blind 방식에서는 학습열없이도 수신하면서 채널의 변동을 추적하여 이의 역특성을 얻을 수 있으므로, 오늘날 적응 등화기의 대표적 방식으로 사용되고 있다. 이와 같은 적응 등화기의 알고리즘으로 CMA (Constant Modulus Algorithm), MMA (Multiple Modulus Algorithm), SCA (Square Contour Algorithm)등이 있다. CMA는 원하는 수렴 속도를 얻을 수 있지만 채널에 의한 진폭 찌그러짐만 보상하며 위상은 불가능하므로 별도의 외부 장치가 필요하다. 반면 MMA는 진폭과 위상을 동시에 보상할 수 있는 능력이 있지만 수렴 후 misadjustment에 의한 등화 잡음이 커지며 SER 성능이 열화되는 문제점이 있으므로, 이들의 특성을 결합시켜 보다 개선된 능력의 갖는 SCA(Square Contour Algorithm)가 등장하였다^{[2][3]}.

그러나 SCA는 이와 같은 단점을 개선할 수 있지만 수렴 속도가 늦어지고 잔류 isi양이 커지므로 이를 개선하기 위한 VSCA와 VSDA가 등장하였다. 이들 방식에서는 수렴 속도의 개선을 위하여 distance adjustment 개념을 CME (Constellation Matching Error)항에의 동시 적용과 Decision directed 기법을 적용시킨 방식이다^{[3][4]}.

본 논문에서는 주어진 16-QAM 송신 신호와 동일한 통신 채널 및 신호대 잡음비 하에서 VSCA와 VSDA 적응 등화 알고리즘의 성능을 비교하였으며, 이를 위한 지수로는 등화기 성능의 분석에 널리 사용되는 등화기 출력 신호 정상도, 잔류 isi와 최대 찌그러짐, MSE를 적용하였다. 2장에서는 기본적인 SCA 알고리즘, distance adjustment 개념과 VSCA와 VSDA 알고리즘에 대해 소개한 후 3 장에서는 시뮬레이션 과정 및 결과를 다루고 마지막 4장에서는 결론을 내리겠다.

II. 본 론

1. 기저 대역 통신 시스템

그림 1은 VSCA 또는 VSDA 알고리즘의 적응 등화기를 적용한 기저 대역 통신 시스템 모델을 나타낸 것이다. 송신측에서는 constant modulus 특성의 16-QAM 신호 s_k 를 송신하면 임펄스 응답이 h_k 인 채널을 통과하면서 가우시안 잡음 n_k 가 추가되어 수신된다. 이때 임펄스 응답 h_k 는 주파수 영역에서 진폭 전달 특성이 일정하지 않고, 위상 전달 특성은 비선형 특성을 갖게 되어 수신 신호 r_k 에는 이로 인한 부호간 간섭과 잡음 영향이 부가된다. 수신된 신호 r_k 는 응답이 f_k 인 등화기에 입력되어 진폭과 위상이 보상된 출력 신호 z_k 를 얻은 후 결정 장치를 통과하면서 최종 복원 신호 \hat{s}_k 를 얻게 된다. 이때 등화기의 응답 f_k 는 자신의 출력 신호 z_k 또는 \hat{s}_k 를 이용하여 다음에 설명되어질 VSCA 또는 VSDA 알고리즘을 적용하여 적응적으로 변화시킨다. 임펄스 응답 h_k 와 등화 필터 f_k 의 차수를 N 이라면 이들 간에는 다음의 관계식들이 성립되며, *는 선형 컨볼루션을 나타낸다.

$$\begin{aligned} h_k &= [h_0 \quad h_1 \quad h_2 \quad \dots \quad h_{N-1}] \\ f_k &= [f_0 \quad f_1 \quad f_2 \quad \dots \quad f_{N-1}] \\ r_k &= s_k * h_k, \quad z_k = r_k * f_k \end{aligned} \quad (1)$$

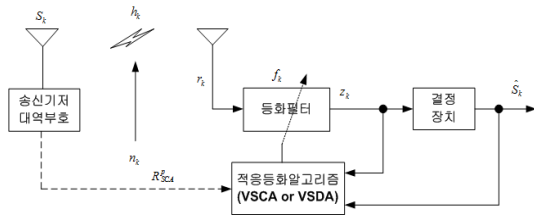


그림 1. 기저 대역 통신 시스템
 Fig. 1. Baseband Communication System

2. Distance Adjustment 개념

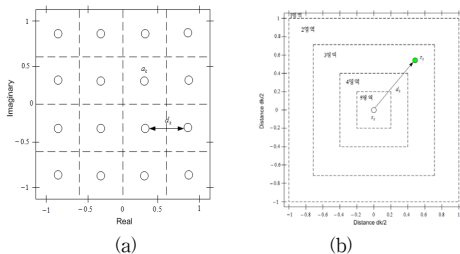
정적인 square contour는 QAM constellation에서 심볼 추정치의 주위에서 정의되므로 distance adjustment를 위하여 이는 가변 적응 단계에 mapping되어질 영역이 형성된다. 고정된 스텝 크기 μ_k 와 weighting factor β 에 해당되는 영역은 다음과 같이 정의되는 등화기 출력의 거리 d_k 를 기본으로 시변 적응 등화기 탭 계수의 갱신에 이용된다.

$$d_k = \frac{|(s_{kR} - z_{kR}) + (s_{kI} - z_{kI})|}{2} + \frac{|(s_{kR} - z_{kR}) - (s_{kI} - z_{kI})|}{2} \quad (2)$$

여기서 d_k 는 등화기 출력 z_k 와 이에 해당되는 심볼치 s_k 와의 최대 거리이다. 등화기의 탭 계수 갱신은 시변 스텝 크기에 의해 스케일 되는 적응 기준의 선형 가중 합으로 이루어지며, 이는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$d_k = \max[|s_{kR} - z_{kR}|, |s_{kI} - z_{kI}|] \quad (3)$$

16-QAM 신호를 대상으로 distance adjusted approach 개념을 그림 2에 나타내었다.



(a) 16-QAM에서 심볼 추정을 위한 결정 영역
 (b) 심볼 추정치 중심의 사각 결정 영역

그림 2. Distance adjustment 개념
 Fig. 2. Concept of distance adjustment

그림 (a)의 등화기 출력은 그림 (b)의 d_k 에 해당되며 sampled square decision 영역은 원래의 square decision 영역에 중첩되어진다. 그림 (b)에서 외곽 영역은 높은 MSE를 갖는 적응 단계를 나타내며, 내부 영역은 낮은 MSE를 갖는 적응 단계를 나타낸다. 등화기 탭 조정의 정확도를 개선시키기 위하여 이들 영역들은 적응 단계로 그룹핑된 후 파라미터 μ_k 와 λ_k 는 이들 단계의 특성을 이용하여 조정된다. 수렴 시간은 외곽 영역에서는 μ_k 를 크게 하여 줄일 수 있게 되어 초기의 수렴 속도를 가속화할 수 있는 반면 내부 영역에서 μ_k 를 적게 하면 감소된다. 복합적인 접근 방식에 의한 오차 함수간의 평탄한 천이를 위해서는 0 과 1 사이에서 λ_k 의 값을 설정해야 한다 [4].

3. VSCA 알고리즘

VSCA 알고리즘에서는 식(1)의 SCA 비용 함수에 CME (Constellation Matching Error)항을 추가시키고 distance adjustment을 기본으로 하여 가중치를 갱신하여 적은 정상 상태 MSE와 잔류 isi를 얻을 수 있다. VSCA 알고리즘의 비용 함수와 p차 dispersion constant R_{SCA}^p 는 다음과 같다.

$$J_{VSCA} = \lambda_k E\{(|z_{kR} + z_{kI}| + |z_{kR} - z_{kI}|)^p - R_{SCA}^p\} + (1 - \lambda_k) E[\beta g(z_k)] \quad (4)$$

$$R_{SCA}^p = \frac{E\{(|s_{kR} + s_{kI}| + |s_{kR} - s_{kI}|)^p \cdot Q\}}{E\{Q\}}$$

$$Q = (|s_{kR} + s_{kI}| + |s_{kR} - s_{kI}|)^{p-1} (\text{sgn}[s_{kR} + s_{kI}](1+j) + \text{sgn}[s_{kR} - s_{kI}](1-j))s_k^*$$

여기서 p는 양의 정수로서 2, β 는 진폭과 constellation matched error간의 trade off를 위한 weighting factor이며 $g(z_k)$ 는 다음과 같이 정의되는 CME 함수를 나타낸다.

$$g(z_k) = [(1 - \sin^{2k}(\frac{z_{kR}}{2d}\pi)) + [(1 - \sin^{2k}(\frac{z_{kI}}{2d}\pi))] \quad (5)$$

$$\eta_k = -\frac{11\pi}{d} [\sin^{2n-1}(\frac{z_{kR}}{2d}\pi)\cos(\frac{z_{kR}}{2d}\pi) + j \sin^{2n-1}(\frac{z_{kI}}{2d}\pi)\cos(\frac{z_{kI}}{2d}\pi)]$$

CME 함수는 각 신호점에서 0이 되도록 설계되어지

며, sinusoidal power function이 사용되며 VSCA 등화기의 탭 계수는 식(10)과 같이 갱신된다.

$$\overline{e_{kVSCA}} = \lambda_k \overline{e_{SCA}} + (1 - \lambda_k) \beta \eta_k \quad (6)$$

$$\begin{aligned} f_{k+1} &= f_k - \mu_k [\lambda_k \{ (|z_{kR} + z_{kI}| + |z_{kR} - z_{kI}|)^p - R_{SCA}^p \} \cdot \\ &\quad (|z_{kR} + z_{kI}| + |z_{kR} - z_{kI}|)^{p-1} \cdot [\text{sgn}(z_{kR} + z_{kI}) + \text{sgn}(z_{kR} - z_{kI})] \\ &\quad + j [\text{sgn}(z_{kR} + z_{kI}) - \text{sgn}(z_{kR} - z_{kI})] + [(1 - \lambda_k) \beta (\eta_k)] r_k^* \\ &= f_k - \mu_k [\lambda_k e_{SCA} + (1 - \lambda_k) \beta \eta_k] r_k^* \end{aligned}$$

VSCA의 오차 신호는 $\lambda_k = 1$ 인 경우 SCA 오차 신호로 줄며 $\lambda_k = 0$ 인 경우 CME 오차 신호로 줄어들게 된다.

4. VSDA 알고리즘

VSDA 알고리즘에서는 SCA 비용 함수에 CME (Constellation Matching Error)항을 추가시키고 distance adjustment을 기본으로 가중치를 갱신하여 적은 정상 상태 MSE와 잔류 isi를 얻을 수 있으며, 비용 함수는 식 (7), 오차 함수를 식 (8), 탭 계수 갱신식을 식 (9)에 나타내었다.

$$J_{VSDA} = \lambda_k E[\{ (|z_{kR} + z_{kI}| + |z_{kR} - z_{kI}|)^p - R_{SCA}^p \}^2] + \frac{1}{2} (1 - \lambda_k) E[\hat{s}_k - (z_k)^2] \quad (7)$$

$$\overline{e_{kVSDA}} = \lambda_k \overline{e_{SCA}} + (1 - \lambda_k) \beta d_k \quad (8)$$

$$\begin{aligned} f_{k+1} &= f_k - \mu_k [\lambda_k \{ (|z_{kR} + z_{kI}| + |z_{kR} - z_{kI}|)^p - R_{SCA}^p \} \cdot \\ &\quad (|z_{kR} + z_{kI}| + |z_{kR} - z_{kI}|)^{p-1} \cdot [\text{sgn}(z_{kR} + z_{kI}) + \text{sgn}(z_{kR} - z_{kI})] \\ &\quad + j [\text{sgn}(z_{kR} + z_{kI}) - \text{sgn}(z_{kR} - z_{kI})] + [(1 - \lambda_k) \beta (\hat{s}_k - z_k)] r_k^* \\ &= f_k - \mu_k [\lambda_k e_{SCA} + (1 - \lambda_k) \beta d_k] r_k^* \end{aligned} \quad (9)$$

여기서 p는 양의 정수로서 2, β 는 진폭과 constellation matched error간의 trade off를 위한 weighting factor를 나타낸다. VSDA의 오차 신호는 $\lambda_k = 1$ 인 경우 SCA 오차 신호로 줄며, $\lambda_k = 0$ 인 경우 CME 오차 신호로 줄어들게 된다. VSCA와 VSDA의 가변 스텝을 위한 λ_k 는 다음의 규칙을 적용하였다.

$$\begin{aligned} d_k \geq 1, & \quad \lambda_k = 1, & \quad \mu_{kVSC(D)A} = \mu_{\max} \\ 1 > d_k \geq 0.7, & \quad \lambda_k = 1, & \quad \mu_{kVSC(D)A} = \mu_{\max}/2 \\ 0.7 > d_k \geq 0.4, & \quad \lambda_k = 0.6, & \quad \mu_{kVSC(D)A} = \mu \\ 0.4 < d_k \geq 0.2, & \quad \lambda_k = 0, & \quad \mu_{kVSC(D)A} = \mu_{\min} \\ d_k < 0.2, & \quad \lambda_k = 0, & \quad \mu_{kVSC(D)A} = \mu_{\min} \end{aligned} \quad (10)$$

초기 등화시에는 큰 step size를 갖는 SCA 알고리즘으로 동작하여 MSE를 빠르게 감소시킨다. 이때 SCA 오차안에 적은 양의 CME 오차를 포함시켜서 constellation point에 대한 정보를 갖게 하므로 이는 수렴 속도와 MSE양을 급격하게 감소시킨다. MSE가 적은 레벨까지 감소되면 등화기는 적은 step size를 갖는 CME항에 의해 동작하므로 정상 상태에서 MSE와 misadjustment에 의한 등화 잡음을 감소시킬 수 있게 된다.

III. 컴퓨터 시뮬레이션

VSCA와 VSDA 블라인드 적응 등화 알고리즘의 성능 비교를 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션을 위한 파라미터로는 SNR을 30dB, 적응 스텝 크기 μ 를 동일하게 0.006, 등화기용 적응 필터의 차수는 15차 FIR, β 는 5.3052로 설정하였다. 송신 16-QAM 신호를 발생시킨 후 부호간 간섭이 발생하는 통신 채널을 통과 및 잡음 신호 n_k 를 부가한 후 수신 신호 r_k 를 얻었으며 시뮬레이션을 위한 신호 처리 과정을 그림 3에 나타내었다.

채널에서 발생하는 찌그러짐을 보상하기 위한 필터 계수의 갱신은 VSCA와 VSDA 알고리즘인 식(6)과 식(9)를 적용하며, 그림 4는 부호간 간섭을 발생시키는 통신 채널의 주파수 전달 함수를 진폭과 위상으로 구분하여 나타낸 것이다. 진폭 전달 함수의 경우 주파수에 따라 통과되는 이득이 3.5dB 범위 내에서 많은 변동이 있음을 알 수 있으며, 위상은 경우 주파수마다 기월기가 일정치 않아 군지연이 발생됨을 알 수 있다.

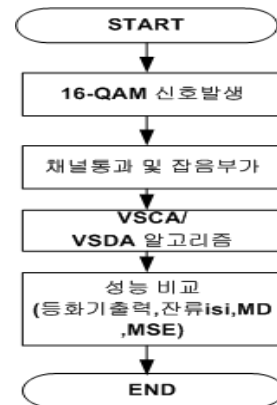


그림 3. 신호 처리 흐름도

Fig. 3. Signal processing flowdiagram

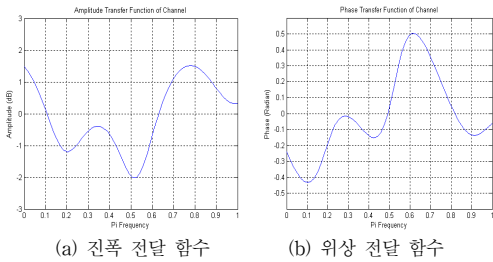


그림 4. 채널의 주파수 전달 함수
 Fig. 4. Frequency transfer function of channel

이상의 시뮬레이션 환경에서 VSCA와 VSDA 알고리즘을 구현하여 이들의 성능을 비교하였다. 성능 비교를 위한 지수로는 등화기 출력 신호 constellation, 잔류 isi와 최대 찌그러짐, MSE를 사용하였다. 첫 번째 지수로서 그림 5는 부호간 간섭을 제거된 후의 등화기 출력 신호 constellation을 나타낸 것이며, 이 신호가 결정 장치에 입력되어 송신 심볼을 추정, 복원하게 된다. 16개의 심볼점에 대하여 명확하게 구분되어지며 이들이 square 형태로 분포하므로 부호간 간섭에 의한 진폭과 위상 찌그러짐이 보상됨을 알 수 있다. 그러나 각 신호점을 나타내는 폭이 적고 좁을수록 더욱 우수한 보상 특성을 가지므로, 그림에서는 VSCA의 정상도가 VSDA보다 신호점의 폭이 좁고, 거리가 멀어 성능의 우월함을 알 수 있다.

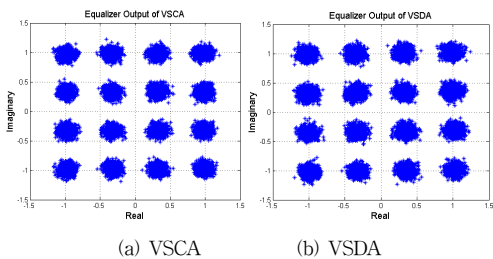


그림 5. 등화기 출력 신호 정상도
 Fig. 5. Signal constellation of equalizer output

두 번째로 적응 등화기의 성능을 나타내는 지수로는 잔류 isi (Residual isi)와 최대 찌그러짐 (Maximum Distortion)과 MSE를 사용하였으며 이들 성능 지수는 적응 등화기의 수렴 속도와 정상 상태에서의 이들의 양을 나타낸다. 먼저 잔류 isi는 통신 채널 h_k 와 등화 필터 계수 f_k 가 완전 보상이 될 때 시간 영역에서는 이들의

convolution 결과는 임펄스 신호가 되며 주파수 영역에서는 평탄한 전달 특성을 갖게 된다. 그러나 시간 영역에서의 완전 보상은 불가능케 되어 임펄스 성분을 제외한 나머지 잔류 성분들의 크기를 나타내며, 최대 찌그러짐은 출력 신호 정상도와 송신 신호점을 중심으로 그 벌어짐의 정도를 나타내는 폭을 의미하고, 마지막으로 MSE는 등화기 출력과 복원 신호인 \hat{s}_k 와의 차이의 자승치를 나타낸다. 그림 6은 두 번째 성능 평가 지수중 잔류 isi 성능을 16-QAM 신호를 대상으로 20000회 반복 수행시킬 때 이들 알고리즘의 결과를 나타낸 것이다. 잔류 isi양에서 -20dB 이하를 정상 상태로 볼 수 있으므로 이를 달성하기 위한 iteration의 수가 VSCA는 1773회, VSDA는 1996회가 필요케 되어 수렴 속도에서 VSCA가 VSDA보다 빠르며, 정상 상태 이후에도 잔여량이 적음을 알 수 있다.

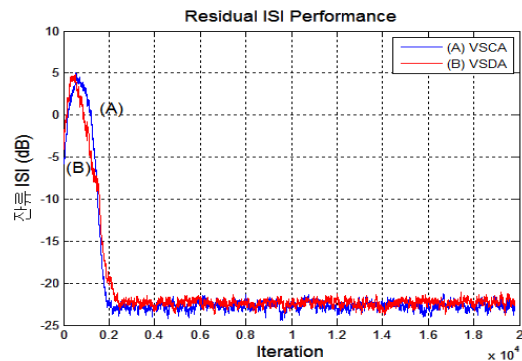


그림 6. 잔류 isi 성능
 Fig. 6. Residual isi performance

그림 7은 두 번째 성능 비교 지수인 최대 찌그러짐 성능을 나타낸 것이다. 이는 그림 5의 정상도에서 송신 신호점을 중심으로 그 폭을 나타내는 것으로 등화 초기의 상태에서 서서히 감소되어 0.35 볼트 이하의 정상 상태에 도달하기 위해 VSCA는 1816회, VSDA는 1895회가 필요하며 정상 상태 이후의 잔여량에서도 VSCA가 VSDA보다 우월함을 알 수 있다. 그림 8은 마지막 성능 비교 지수인 MSE 성능을 나타낸 것이다. 여기서도 초기의 상태에서 수렴 상태로 진입하면서 안정된 정상 상태로 등화가 이루어짐을 알 수 있다. 정상 상태에 도달하기 위한 수렴 속도에서 VSCA는 1962회, VSDA는 2465회가 필요하며, 정상 상태에서 MSE양에서도 VSCA가 VSDA보다 우월함을 확인할 수 있다.

V. 결론

논문에서는 대역 제한과 다중 경로 통신 채널에서 발생하는 부호간 간섭을 최소화하기 위한 적응 등화 알고리즘인 VSCA와 VSDA의 성능을 분석하였다. 이들 알고리즘은 SCA에서 적응 스텝 크기의 적용과 constellation matching error를 줄이기 위한 distance adjustment 개념과 Decision Directed 개념을 도입하여 진폭과 위상 보상 능력을 개선시키기 위하여 등장하였다. 이의 성능 비교 및 분석을 위해 16-QAM을 대상으로 동일한 채널 계수와 신호대 잡음비 및 적응 스텝 크기를 적용하였으며, 이를 위한 지수로 등화기 출력 신호 정상도, 잔류 isi 와 최대 찌그러짐 및 MSE를 이용하였다. 시뮬레이션 결과 잔류 isi, 최대 찌그러짐 및 MSE 에서 VSCA가 VSDA보다 정상 상태에 도달하기 위한 수렴 속도가 빠르고, 정상 상태 이후의 잔여양이 적음을 그림을 통해 정성적으로 알 수 있었으며, 이의 정량적인 통계적 분석을 통하여 성능이 우월함을 확인하였다. 이와 같은 연구 결과를 바탕으로 향후 학습열의 도움없이 채널의 부호간 간섭과 잡음의 영향을 최소화시킬 수 있는 블라인드 등화 알고리즘으로서의 유용성을 확인할 수 있어서 향후 고속, 광대역 트래픽 전송과 같은 다양한 이동 통신 전송 분야에서 통신 시스템의 throughput을 개선시킬 수 있을 것으로 기대된다.

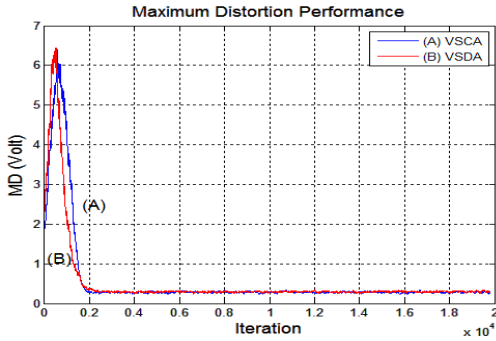


그림 7. 최대 찌그러짐 성능
Fig. 7. Maximum distortion performance

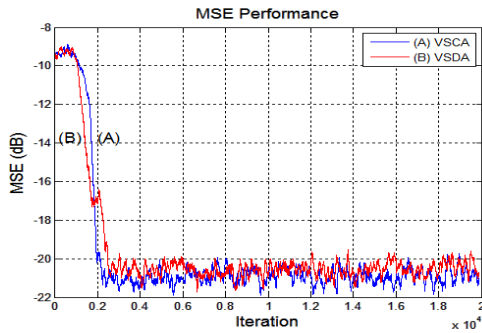


그림 8. MSE 성능
Fig. 8. MSE performance

표 1은 그림 6, 7, 8에서 그래프로 제시되어진 잔류 isi, 최대 찌그러짐 및 MSE 성능에 대한 정량적인 비교를 위하여 정상 상태 이후의 평균과 분산을 나타낸 것으로서 3가지 비교 지수에서 VSCA가 VSDA 알고리즘보다 통계적인 평균값이 적게 되어 모든 지수에서 우월함을 알 수 있다.

표 1. 성능 지수의 통계치
Table 1. Statistics of Performance Index

	VSCA		VSDA	
	평균	분산	평균	분산
잔류 isi	0.0054	3.4931e-7	0.0059	4.9111e-7
	0.2819	2.164e-4	0.2946	2.4816e-4
최대 찌그러짐	0.0081	5.2293e-7	0.0088	5.0009e-7

References

- [1] D.N.Godard, "Self-recovering Equalization and carrier tracking in two-dimensional data comm. system", IEEE Trans. on Comm., Vol. 28, pp. 186 7~1875, Nov. 1980.
- [2] A.T.Sheikh, S.A.Sheikh, "Efficient Variants of Square Contour Algorithm for Blind Equalization of QAM Signal", World Academy of Science, Eng. and Technology, pp.200~208, 2009.
- [3] L.He, M.G.Amin et al, "A Hybrid Adaptive Blind Equalization Algorithm for QAM Signals in Wire-less Communications", IEEE Trans. on Signal Proc., Vol.52, No.7, pp.2058~2069, July 2004.
- [4] K.Banovic, E.A.Rahleem, M.A.S.Khalid, "A Novel

- Radius-Adjusted Approach for Blind Adaptive Equalization", IEEE S.P.Letters, Vol.13, No.1, pp. 37~40, Jan. 2006.
- [5] K.H.Oh, "An Algorithm for Variable Step-Size Improving Steady-State Performance of Blind Equalization", Journal of K.I.I.T., Vol.9, No.10, pp.43~48, Oct. 2011.
- [6] S.G.Lim, "Performance of VSCA Adaptive Equalization Alorithm for 16-QAM Signal", Jour. on I.W.I.T., Vo.13, No.4, pp.67~73, Aug. 2013.
- [7] S.G.Lim, "Performance Evaluation of VSDA Blind Equalization Algorithm for 16-QAM Signal", Jour. on I.W.I.T., Vol.14, No.1, Feb. 2014.
- [8] J.P.Chung, I.J.Kim, "Performance Analysis of Turbo Equalizer in Fading Channel", Journal of K.I.I.T., Vol.10, No.1, pp.91~96, Jan. 2012.
- [9] L.He, M.G.Amin, C.Reed, R.C.Malkemes, "A Hyb-rid Adaptive Blind Equalization Algorithm for QAM Signals in Wireless Communication", IEEE Trans. on S.P., Vol.52, No.7, pp.2058~2069, July 2004.

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>