

<http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2013.13.4.67>

JIIBC 2013-4-10

16-QAM 신호에 대한 VSCA 적응 등화 알고리즘의 성능

Performance of VSCA Adaptive Equalization Algorithm for 16-QAM Signal

임승각*

Seung-Gag Lim

요약 본 논문은 16-QAM 신호 전송시 시분산 채널에서 발생하는 찌그러짐에 의한 부호간 간섭을 경감시키기 위한 적응 등화 알고리즘인 VSCA (Variable stepsize Square Contour Algorithm)의 성능에 관한 것이다. 기존의 SCA에서는 송신 신호의 2차 통계를 이용한 Constellation Dependent Constant를 이용하여 부호간 간섭이 존재하는 수신 신호의 진폭과 위상을 보상이지만, VSCA에서는 constellation matching을 위한 distance adjusted approach 개념을 추가하여 적응 등화 성능을 더욱 개선시켰다. 논문에서는 VSCA의 개선된 성능을 SCA와 비교하였으며, 이를 위한 성능 지료로는 등화기 출력 신호 정상도, 잔류 isi양, 최대 찌그러짐 및 MSE를 사용하였다. 컴퓨터 시뮬레이션의 성능 비교 결과 모든 지수에서 VSCA 알고리즘이 SCA보다 우월함을 확인할 수 있었다.

Abstract This paper relates with the performance of VSCA adaptive equalization algorithm that is used for the minimization of the intersymbol interference due to the distortion which occurs in the time dispersive channel for the transmission of 16-QAM signal. In the conventional SCA, it is possible to compensate the amplitude and phase in the received signal that are mixed with the intersymbol interference by the constellation dependent constant by using the 2nd order statistics of the transmitted signal. But in the VSCA, it is possible to increase the equalization performance by adding the concept of distance adjusted approach for constellation matching. We compare the performance of VSCA and SCA algorithm by computer simulation. For this, the equalizer output signal constellation, residual isi, maximum distortion and MSE were used for performance comparison. It was confirmed that, the VSCA algorithm has better than the SCA in every performance index by computer simulation.

Key Words : SCA, VSCA, Maximum Distortion, Constellation Dependent Constant

1. 서론

유선과 무선 전송을 위한 통신 채널에서는 주파수 translation, nonlinear 또는 harmonic 찌그러짐과 대역 제한에 의한 time dispersion으로 발생하는 부호간 간섭

과 multi path 페이딩 및 가우시안 부가 잡음 등이 부가되어 전송 신호의 품질을 열화시키는 주된 원인이 된다^{[1][3]}. 이로 인하여 심볼 오류율 (SER : Symbol Error Rate)의 증가와 송수신국간 동기 이탈 원인등으로 전체적인 통신 시스템의 전송 효율 및 성능이 저하된다. 이로

*정회원, 공주대학교 정보통신공학부 정보통신공학
접수일자 : 2013년 4월 30일, 수정완료 : 2013년 6월 27일
게재확정일자 : 2013년 8월 16일

Received: 30 April, 2013 / Revised: 27 June, 2013 /

Accepted: 16 August, 2013

*Corresponding Author: sglim@kongju.ac.kr

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

인한 영향을 경감시키기 위하여 Tx Filter 와 Rx Filter, Partial Response code, MIMO 전송 기술등이 사용되고 있다. 그러나 이동 통신 채널과 같이 이의 특성이 시간과 장소에 따라 변동하거나 열악한 전파 환경에 의한 순간 (Outage)등이 발생할 수 있는 시변 채널의 경우 가장 우월한 경감책으로는 적응 등화기를 들 수 있다. 적응 등화기를 사용하면 통신 자원을 낭비시키지 않으면서도 전송 효율과 통신 시스템의 throughput을 증대시켜 서비스 품질을 개선시킬 수 있게 되어 현재까지도 이를 위한 다양한 적응 등화 알고리즘의 연구가 진행 중이며^[2], 이때 학습열 (training sequence)의 도움 없이 매 순간 등화 계수를 갱신시킬 수 있는 능력을 갖는 방식이 블라인드 적응 등화 알고리즘이다. 적응 등화 알고리즘에서는 채널의 찌그러짐에 신속하게 진폭과 위상을 보상할 수 있는 능력과 상태가 변화하거나 채널의 절단 등의 상태에서부터 정상적인 보상 성능을 얻기 위한 수렴 능력이 매우 중요하게 된다. 이의 대표적인 알고리즘으로 CMA (Constant Modulus Algorithm), RCA (Reduced Constellation Algorithm)등이 있다^{[7][8]}. CMA는 수신측에서 등화를 위한 알고리즘에는 송신측 신호에 대한 2차와 4차의 고차 통계치인 constant modulus를 이용하여 진폭만 보상하므로 위상에 대한 차등 부호화 방식 또는 별도의 위상 고정 루프가 필요케 된다. 반면 RCA는 진폭과 위상을 동시에 보상할 수 있는 능력이 있지만 초기의 수렴 특성이 좋지 않으며 수렴후에도 misadjustment에 의한 등화 잡음이 커지는 문제점이 있다. 이들의 상반되는 특성을 결합시켜 이들보다 개선된 능력을 갖는 SCA (Square Contour Algorithm)가 등장하였다^[3]. 그러나 수렴 속도와 잔류 isi 양이 늦어지고 큰 단점이 있으므로 이를 개선하기 위하여 CME (Constellation Matching Error)항을 radius adjustment 개념을 SCA에 적용시킨 VSCA (Variable stepsize Square Contour Algorithm)가 등장하였다^[4]. 본 논문에서는 주어진 16-QAM 송신 신호와 동일 통신 채널과 신호대 잡음비하에서 VSCA 블라인드 적응 등화 알고리즘의 정량적 성능을 기존 SCA와 비교하며, 이를 위한 지표로는 등화기 출력 신호 정상도, 잔류 isi와 최대 찌그러짐, MSE를 사용하였다. 2장에서는 기본적인 SCA 알고리즘, radius adjustment 개념과 VSCA 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 적응 등화기를 사용하는 디지털 기저 대역 통신 시스템의 모델을 나타낸 것으로 스펙트럼의 이동을 나타내는 변복조부는 생략하였다. 송신측에서는 constant modulus 특성을 갖는 PAM (Pulse Amplitude Modulation) 이나 QAM (Quadrature Amplitude Modulation)과 같은 1차원 또는 2차원 형태의 신호 s_k 를 송신하면 임펄스 응답이 h_k 인 통신 채널을 통과하면서 가우시안 잡음 n_k 가 추가되어 수신된다. 이때 통신 채널의 임펄스 응답 h_k 는 주파수 영역에서 진폭 전달 특성이 일정하지 않으며, 위상 전달 특성은 비선형 특성을 갖게 되어 수신 신호 r_k 에는 부호간 간섭 영향이 추가된다. 수신된 신호 r_k 는 응답이 f_k 인 등화기에 입력되어 진폭과 위상이 보상된 출력 신호 z_k 를 얻은 후 이 신호는 결정 장치를 통과하면서 최종 복원 신호 \hat{s}_k 를 얻게 된다. 이때 등화기의 응답 f_k 는 출력 신호 z_k 또는 \hat{s}_k 를 이용하여 다음에 설명되어질 SCA 또는 VSCA 알고리즘을 적용하여 각각의 비용 함수를 최소화시키도록 적응적으로 변화시킨다.

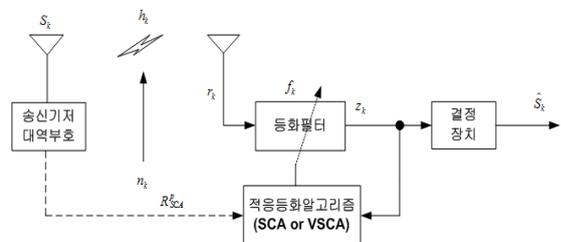


그림 1. 기저 대역 통신 시스템

Fig. 1. Baseband Communication System

2. SCA 알고리즘

일반적으로 CMA 알고리즘에서는 등화기 출력을 영-오차 윗곡선에서 반경 R_{CMA} 인 원주 상에 위치하도록 등화기 계수를 조절하는 반면 SCA 알고리즘에서는 그림 2와 같이 square contour 상에 위치하도록 등화기 계수를 조절하며, 이때 square 상에 위치하므로 진폭과 위상을 표현할 수 있게 되어 이들의 보상이 가능하게 된다. SCA 알고리즘에서 비용 함수는 다음의 식(1)과 같다.

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

여기서 p는 양의 정수로서 2 이고 R_{SCA} 는 constellation dependent constant 또는 dispersion constant라고도 하며 다음과 같이 정의된다.

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

이를 이용하여 등화기의 탭 계수 갱신을 위한 오차 함수는 식(3)과 같다.

$$\overline{e_{kSCA}} = ((|z_{kr} + z_{ki}| + |z_{kr} - z_{ki}|)^p - R_{SCA}^p) (|z_{kr} + z_{ki}| + |z_{kr} - z_{ki}|)^{p-1} \\ \times (\text{sgn}[z_{kr} + z_{ki}](1+j) + \text{sgn}[z_{kr} - z_{ki}](1-j)) \quad (3)$$

상수 R_{SCA} 는 송신 신호가 Independent Identical Distribution이고 등화기 출력이 송신 심볼과 같아지는 ($z_k = s_k$) 완전 등화가 되는 정상 상태인 $E[\overline{e_k x_k^*}] = 0$ 로 설정하여 얻을 수 있게 되므로

$$R_{SCA}^p = \frac{E\{(|s_{kr} + s_{ki}| + |s_{kr} - s_{ki}|)^p \cdot Q\}}{E\{Q\}} \quad (4)$$

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

가 되며 식(3)의 오차 함수를 이용하여 SCA 알고리즘에서도 등화 필터의 계수를 갱신한다.

$$f_{k+1} = f_k - \mu \overline{e_{kSCA}} \Gamma_k^* \quad (5)$$

다음의 그림 2는 송신 신호가 16-QAM 인 경우 등화기 출력에서 SCA 알고리즘의 zero error contour를 나타낸 것이다. SCA는 $R_{SCA}/2$ 크기로 직사각형 주위로 임의의 출력 신호점 z_k 를 얻으면 x, y 방향 (복소수) 으로 오차 신호의 크기와 위상을 얻을 수 있는 공통점이 있다. 이들을 이용하여 식(4)와 같이 오차를 줄이도록 등화기의 계수를 update시킨다^[3].

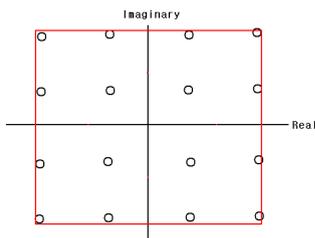


그림 2. SCA 알고리즘의 영-오차 윤곽선
Fig. 2. Zero-error contour of SCA algorithms

3. Radius Adjustment 개념

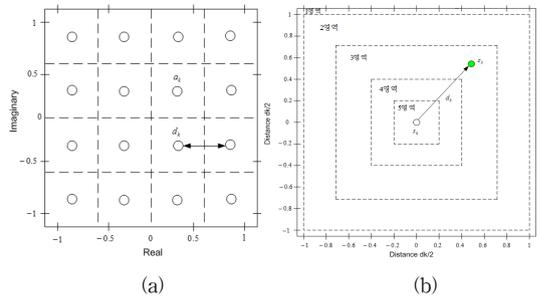
그림 2와 같은 정적인 square contour는 QAM constellation에서 심볼 추정치의 주위에서 정의되므로 radius adjustment를 위한 가변 적응 단계에 mapping될 영역이 형성된다. 고정된 스텝 크기 μ_k 와 weighting factor β 에 해당되는 영역은 다음과 같이 정의되는 등화기 출력의 거리 d_k 를 기본으로 시변 적응 등화기 탭 계수의 갱신에 이용된다.

$$d_k = \frac{|(s_{kR} - z_{kR}) + (s_{kI} - z_{kI})|}{2} + \frac{|(s_{kR} - z_{kR}) - (s_{kI} - z_{kI})|}{2} \quad (6)$$

여기서 d_k 는 등화기 출력 z_k 와 이에 해당되는 추정 심볼치 \hat{s}_k 와의 최대 거리이다. 등화기의 탭 계수 갱신은 시변 스텝 크기예의해 스케일되는 적응 기준의 선형 가중 합으로 이루어지며, 이는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$d_k = \max\{|s_{kR} - z_{kR}|, |s_{kI} - z_{kI}|\} \quad (7)$$

16-QAM 신호를 대상으로 distance adjusted approach 개념을 그림 3에 나타내었다.



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

그림 3. Radius Adjustment 개념
Fig. 3. Concept of Radius Adjustment

그림 (a)의 등화기 출력은 그림 (b)의 d(n)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 감소된

다. 복잡한 접근 방식에 의한 오차 함수간의 평탄한 친이를 위해서는 0 과 1 사이에서 λ_k 의 값을 설정해야 한다 [4].

4. 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 함수는 다음과 같이 된다.

$$J_{VSCA} = \lambda_k E[(|z_{kR} + z_{kI}| + |z_{kR} - z_{kI}|)^p - R_{SCA}^p]^2 + (1 - \lambda_k) E[\beta g(z_k)] \quad (8)$$

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.

$$g(z_k) = [(1 - \sin^{2k}(\frac{z_{kR}}{2d}\pi)) + [(1 - \sin^{2k}(\frac{z_{kI}}{2d}\pi))] \quad (9)$$

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

CME 함수는 각 신호점에서 0이 되도록 설계되어지며, sinusoidal power function이 사용되며 VSCA 등화기의 탭 계수는 식(10)과 같이 갱신된다.

$$e_{kVSCA} = \lambda_k e_{kSCA} + (1 - \lambda_k)\beta\eta_k \quad (10)$$

$$f_{k+1} = f_k - \mu_{kVSCA} [\lambda_k ((|z_{kR} + z_{kI}| + |z_{kR} - z_{kI}|)^p - R_{SCA}^p) \cdot (|z_{kR} + z_{kI}| + |z_{kI}|)^{p-1} \cdot [\text{sgn}(z_{kR} + z_{kI}) + \text{sgn}(z_{kR} - z_{kI})] + j [\text{sgn}(z_{kR} + z_{kI}) - \text{sgn}(z_{kR} - z_{kI})] + [(1 - \lambda_k)\beta(\eta_k)]^*] + f_k - \mu_k [\lambda_k e_{kSCA} + (1 - \lambda_k)\beta\eta_k]^*$$

VSCA의 오차 신호는 $\lambda_k = 1$ 인 경우 SCA 오차 신호로 줄며 $\lambda_k = 0$ 인 경우 CME 오차 신호로 줄어들게 된다. 가변 스텝을 위한 λ_k 는 다음의 규칙을 적용하였다.

$$\begin{aligned} d_k \geq 1, & \quad \lambda_k = 1, & \quad \mu_{kVSCA} = \mu_{\max} \\ 1 > d_k \geq 0.7, & \quad \lambda_k = 1, & \quad \mu_{kVSCA} = \mu_{\max}/2 \\ 0.7 > d_k \geq 0.4, & \quad \lambda_k = 0.6, & \quad \mu_{kVSCA} = \mu \\ 0.4 < d_k \leq 0.2, & \quad \lambda_k = 0, & \quad \mu_{kVSCA} = \mu_{\min} \\ d_k < 0.2, & \quad \lambda_k = 0, & \quad \mu_{kVSCA} = \mu_{\min} \end{aligned} \quad (11)$$

초기 등화시에는 큰 step size를 갖는 SCA 알고리즘으로 동작하여 MSE를 빠르게 감소시킨다. 이때 SCA 오차안에 적은 양의 CME 오차를 포함시켜서 constellation point에 대한 지식을 갖게 하므로서 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

VSCA 블라인드 적응 등화 알고리즘의 성능 분석을 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였으며, 이를 기존 SCA와 비교한다. 시뮬레이션에서는 SNR을 30dB, 적응 스텝 크기 $\mu = 0.0008$, $\mu_{\max} = 0.007$, $\mu_{\min} = 0.00001$ 및 CME를 위한 가중치 $\beta = 31.83$, 등화기용 적응 필터의 차수는 15차 FIR로 설정하였다. 16-QAM 신호를 발생시킨 후 부호간 간섭이 발생하는 통신 채널을 통과 및 잡음 신호 n_k 를 부가한 후 수신 신호를 얻었으며 전체 신호 처리 과정을 그림 4에 나타내었다. 채널에서 발생하는 찌그러짐을 보상하기 위한 필터 계수의 갱신은 VSCA와 SCA 알고리즘인 식(10)과 식(5)를 각각 적용하였다. 그림 5는 통신 채널의 주파수 전달 함수를 진폭과 위상으로 구분하여 나타낸 것으로 진폭의 경우 많은 찌그러짐이 발생됨을 알 수 있으며, 위상은 경우 주파수마다 기울기가 일정치 않아 군지연이 발생됨을 알 수 있다.

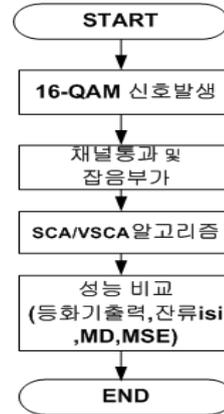


그림 4. 신호 처리 흐름도
Fig. 4. Signal Processing Flowdiagram

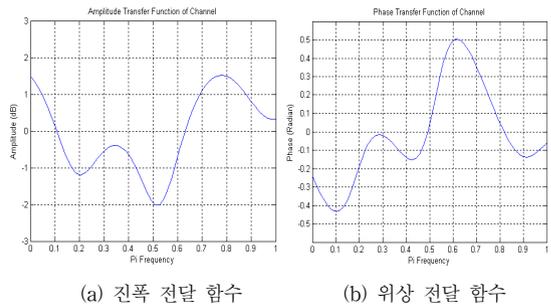


그림 5. 채널의 주파수 전달 함수
Fig. 5. Frequency Transfer Function of Channel

이상의 시뮬레이션 환경을 통하여 SCA와 VSCA 알고리즘의 성능을 수행하였다. 그림 6은 부호간 간섭을 보상한 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 분포하기 때문에 부호간 간섭에 의한 진폭과 위상이 보상됨을 알 수 있다. 그러나 각 신호점을 나타내는 폭이 적고 좁을수록 더욱 우수한 보상 특성을 갖는 알고리즘이다. SCA의 정상도와 VSCA의 정상도에서 신호점들의 폭이 매우 유사하므로 그림을 이용한 성능의 우월성을 판별하기 매우 어렵다.

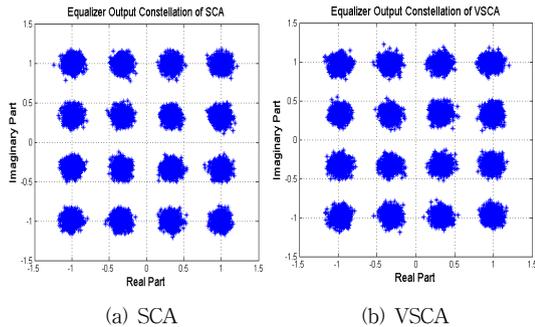


그림 6. 등화기 출력 신호 정상도
Fig. 6. Signal Constellation of Equalizer Output

두 번째로 적응 등화기의 성능을 나타내는 지표로는 잔류 isi (Residual isi)와 최대 찌그러짐 (Maximum Distortion)과 MSE를 사용하였다. 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 영역에서 이의 완전 보상은 불가능케 되어 임펄스 성분을 제외한 나머지 잔류 성분들의 크기를 나타낸다. 최대 찌그러짐은 그림 6의 출력 신호 정상도에서 원래의 신호점을 중심으로 그 폭을 나타내며 마지막으로 MSE는 송신 신호 s_k 와 등화기 출력 신호 z_k 의 차이의 자승치를 나타낸 것으로 이들은 다음의 식과 같이 정의된다.

$$\text{잔류 isi}_{dB} = 10 * \log_{10} \frac{\sum |h_k \infty f_k|^2 - |h_k \infty f_k|_{\max}^2}{|h_k \infty f_k|_{\max}^2} \quad (12)$$

$$\text{최대 찌그러짐} = \frac{\sum |h_k \infty f_k| - |h_k \infty f_k|_{\max}}{|h_k \infty f_k|_{\max}}$$

$$MSE_{dB} = 10 \log_{10} [\hat{s}_k - z_k]^2$$

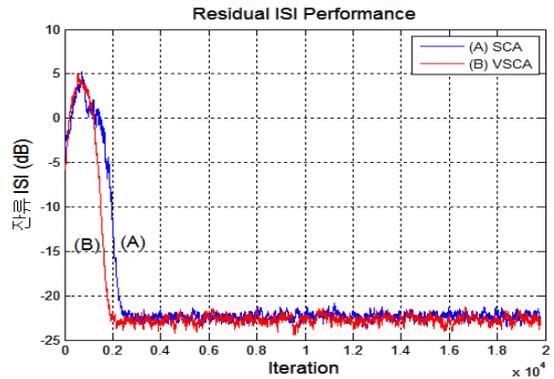


그림 7. 잔류 isi 성능
Fig. 7. Residual isi Performance

그림 7은 첫 번째 성능 평가 지수인 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 SCA 에서는 2237회, VSCA 에서는 1773회가 필요케 되어 정상 상태에 도달하기위한 수렴 속도 측면에서 VSCA가 1.3배 정도 빠름을 알 수 있으며 정상 상태 이후에도 이들의 양도 다소 감소됨을 알 수 있다. 이는 잔류 isi양이 CME 항과 radius adjustment 에 의하여 SCA 보다 VSCA가 변동 양과 이들의 범위도 적게 되어 misadjustment에 의한 등화 잡음이 적어짐을 알 수 있다.

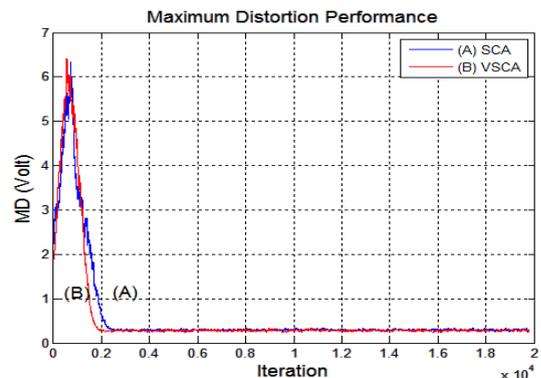


그림 8. 최대 찌그러짐 성능
Fig. 8. Maximum Distortion Performance

그림 8은 두 번째 성능 비교 지수인 최대 찌그러짐 성능을 나타낸 것이다. 이는 그림 6의 정상도에서 송신 신호점을 중심으로 그 폭을 나타내는 것으로 등화 초기의

상태에서 서서히 감소되어 정상 상태로 진입한 후 안정된 상태로 등화가 이루어짐을 알 수 있다.

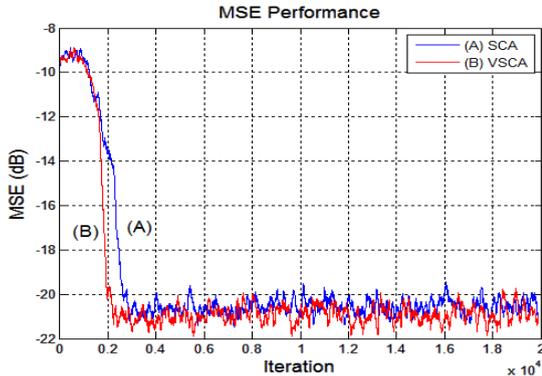


그림 9. MSE 성능
Fig. 9. MSE Performance

그림 9는 마지막 성능 비교 지수인 MSE 성능을 나타낸 것이다. 수렴 속도에서는 -20dB를 달성하기 위하여 SCA는 2605회, VSCA는 1962회가 얻어져서 VSCA가 SCA보다 1.3배 정도 빠름을 알 수 있으며 정상 상태 이후에도 안정된 정상 상태로 등화가 이루어짐을 알 수 있다. 표 1은 그림 7, 8, 9에서 제시되어진 잔류 isi, 최대 찌그러짐 및 MSE 성능에 대한 정량적인 비교를 위하여 정상 상태 이후의 이들의 통계적인 평균값과 분산을 나타낸 것으로서 3가지 비교 지수에서 SCA보다 VSCA 알고리즘이 우월함을 알 수 있다.

표 2. 성능 지수의 통계치
Table 2. Statistics of Performance Index

	SCA		VSCA	
잔류 isi	평균	0.0059	평균	0.0054
	분산	3.0470e-7	분산	3.4931e-7
최대 찌그러짐	평균	0.2939	평균	0.2818
	분산	1.5802e-4	분산	2.0939e-4
MSE	평균	0.0088	평균	0.0081
	분산	4.4093e-7	분산	5.2294e-7

V. 결론

논문에서는 대역 제한과 다중 경로 통신 채널에서 발생하는 부호간 간섭을 최소화하고 통신망의 순단으로 부

터 빠르게 회복하기 위한 적응 등화 알고리즘인 VSCA의 성능을 분석하였다. VSCA 알고리즘은 기존 SCA 알고리즘에서 constellation matching error를 줄이기 위한 radius adjustment 개념을 도입하여 진폭과 위상 보상 능력을 개선하기 위해 등장하였다. 이의 성능 분석 및 비교를 위해 16-QAM을 대상으로 동일한 채널 계수와 신호 대 잡음비 및 적응 스텝 크기를 적용할 때 SCA와 비교하였으며, 이를 위한 지수로 등화기 출력 신호 정상도, 잔류 isi와 최대 찌그러짐 및 MSE를 이용하였다. 시뮬레이션 결과 잔류 isi에서는 정상 상태에 도달하기 위하여 SCA에서는 2237회, VSCA에서는 1773회가 소요되어 수렴 속도에서 VSCA가 빠름을 알 수 있었으며, 최대 찌그러짐과 MSE 성능에서도 빠른 수렴 속도를 확인할 수 있었다. 또한 정상 상태 이후에는 표 1의 정량적인 분석을 통하여 전체적인 성능과 misadjustment에 의한 등화 잡음이 적게 되어 개선된 성능을 확인하였다. 이와 같은 연구 결과를 바탕으로 향후 고속, 광대역의 양방향 및 실시간 트래픽 전송과 같은 다양한 무선 전송 분야에 적용될 때 CMA보다 개선된 성능 특성을 갖는 SCA 계열의 등화 알고리즘에 대한 지속적인 연구가 필요할 것이다.

References

- [1] D.N.Godard, "Self-recovering Equalization and carrier tracking in two-dimensional data comm. system", IEEE Trans. on Comm., Vol. 28, pp. 1867~1875, 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] T.Thaiupathump, L.He, S.A.Kassam, "Square contour algorithm for blind equalization of QAM signal", Signal Processing 86, pp.3357~3370, 2006
- [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] L.He, M.G.Amin, C.Reed, R.C.Malkemes, "A Hybrid Adaptive Blind Equalization Algorithm for QAM

- Signals in Wireless Communications", IEEE Trans. on S.P., Vol.52, No.7, pp.2058~2069, July 2004
- [6] 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
- [7] 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, 2012. 1
- [8] Lim S.G., "The Performance Comparison of the MMA and SCA Algorithm for Self Adaptive Equalization", Journal of I.W.I.T., Vol.12, No.2, pp.159~165, April 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 정보통신

공학부 교수.

<주관심분야 : 방송/통신 시스템, 이동통신>