

<http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2014.14.1.85>

IIBC 2014-1-11

16-QAM 신호에 대한 VSDA 블라인드 등화 알고리즘의 성능 평가

Performance Evaluation of VSDA Blind Equalization Algorithm for 16-QAM Signal

임승각*

Seung-Gag Lim*

요약 본 논문은 16-QAM 신호 전송시 시분산 채널에서 발생하는 진폭과 위상 찌그러짐에 의한 부호간 간섭을 경감시키기 위한 적응 등화 알고리즘인 VSDA (Variable stepsize Square contour Decision directed Algorithm)의 성능에 관한 것이다. 기존 SCA 에서는 송신 신호의 2차 통계치인 Constellation Dependent Constant를 이용하여 수신 신호의 진폭과 위상을 보상하지만, VSDA에서는 constellation matching을 위한 distance adjusted approach 개념과 decision directed 비용 함수를 추가하여 수렴 성능을 더욱 개선시킨 것이다. 논문에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 VSDA와 SCA의 등화 성능을 비교하였으며, 이를 위한 성능 지수로는 등화기 출력 신호 정상도, 잔류 isi양, 최대 찌그러짐 및 MSE를 사용하였다. 성능의 비교 결과 수렴 속도에서는 VSDA 알고리즘이 SCA보다 훨씬 개선되었지만, 모든 성능 지수는 유사함을 알 수 있었다.

Abstract This paper relates with the VSDA (Variable stepsize Square contour Decision directed Algorithm) 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 VSDA, it is possible to increase the equalization performance by adding the concept of distance adjusted approach for constellation matching and the cost function of decision directed. We compare the performance of VSDA and SCA algorithm by the computer simulation. For this, the equalizer output signal constellation, residual isi, maximum distortion and MSE were used in the performance index. As a result of computer simulation, the VSDA algorithm has better than the SCA in convergence speed, but it gives nearly same equalization performance in other index.

Key Words : SCA, VSDA, Residual isi, Maximum distortion, Constellation dependent constant

I. 서 론

홈 네트워크 및 RFID 응용과 같은 제한된 통신 범위

를 갖는 무선 전송에서 전파는 건물의 벽과 유리등에 반사되면서 수신점에 수신된다. 이와 같은 다중 경로 (Multi Path) 환경을 갖는 통신 채널에서는 다중 경로 성

*정회원, 공주대학교 정보통신공학부
접수일자 2013년 11월 4일, 수정완료 2013년 12월 20일
게재확정일자 2014년 2월 7일

Received: 4 November, 2013 / Revised: 20 December, 2013

Accepted: 7 February, 2014

*Corresponding Author: sglim@kongju.ac.kr

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

분들의 전파 지연 시간 (Propagation Delay Time)을 갖고 수신되어되며, 이들이 랜덤하게 합성되어져서 수신 신호의 포락선은 확률적으로 진폭은 Rician 또는 Rayleigh 분포로 변동하며 위상은 Uniform 분포하는 페이딩을 발생된다. 이로 인하여 심볼 오류율 (SER : Symbol Error Rate)과 동기 이탈등이 발생되어 전체통신 시스템의 전송 효율 및 성능이 저하된다. 이의 영향을 완화시키기 위한 기술적 대책으로 송수신 필터, 부분 응답 부호화 (PRC: Partial Response Coding)등이 있지만 가장 널리 사용되는 기술로는 적응 등화기를 들 수 있다. 적응 등화기를 사용하면 통신 자원을 낭비 또는 송신 전력과는 무관하게 전송 효율과 throughput을 증대시켜 서비스 품질을 개선시킬 수 있게 되어 현재까지도 많이 사용되고 있다^[1]. 적응 등화기에서는 중요한 성능으로는 수렴 속도와 MSE (Mean Square Error)가 있다. 수렴 속도는 통신 채널의 급격한 변화나 순단과 같은 장애 환경에서 정상 상태로 회복하여 서비스를 재개하는데 소요되는 시간을 나타내며, MSE는 정상 상태에서 올바른 정보를 복원하기 위한 적응 등화기의 능력을 나타낸다. 이와같은 적응 등화기의 대표적인 알고리즘으로 CMA (Constant Modulus Algorithm), RCA (Reduced Constellation Algorithm), SCA (Square Contour Algorithm)등이 있다. CMA는 원하는 수렴 속도를 얻을 수 있지만 그 비용 함수가 진폭만을 표시하므로 진폭만 보상하며 위상에 대해서는 별도의 외부 장치가 필요하게 된다. 반면 RCA는 진폭과 위상을 동시에 보상할 수 있는 능력이 있지만 초기의 수렴 특성이 좋지 않으며 수렴 후 misadjustment에 의한 등화 잡음이 커지는 문제점이 있다. 이들의 상반되는 특성을 결합시켜 이들보다 개선된 능력을 갖는 SCA (Square Contour Algorithm)가 등장하였다^{[2][3]}. 그러나 SCA는 상기단점을 개선할 수 있지만 수렴 속도가 늦어지고 잔류 isi양이 커지므로 VSDA (Variable step size Square contour Decision directed Algorithm)가 등장하였다.

VSDA는 radius adjustment 개념을 CME (Constellation Matching Error)항에의 적용과 Decision directed 기법을 적용시킨 방식이다. 본 논문에서는 주어진 16-QAM 송신 신호와 동일한 통신 채널 및 신호대 잡음비하에서 VSDA 적응 등화 알고리즘의 정량적 성능을 기존 SCA와 비교하였으며, 이를 위한 지수로는 등화기 성능의 분석에 널리 사용되는 등화기 출력 신호 정상도,

잔류 isi와 최대 찌그러짐, MSE를 사용하였다. 2장에서는 기본적인 SCA 알고리즘, radius adjustment 개념과 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 SCA 또는 VSDA 알고리즘의 적응 등화기를 적용한 기저 대역 통신 시스템 모델을 나타낸 것이다. 송신측에서는 constant modulus 특성의 QAM과 같은 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 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 VSDA 알고리즘을 적용하여 각각의 비용 함수를 최소화시키도록 적응적으로 변화시킨다. 임펄스 응답 h_k 와 등화 필터 f_k 의 차수를 N 이라면 이들 간에는 다음의 관계식들이 성립되며, *는 선형 컨볼루션을 나타낸다.

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

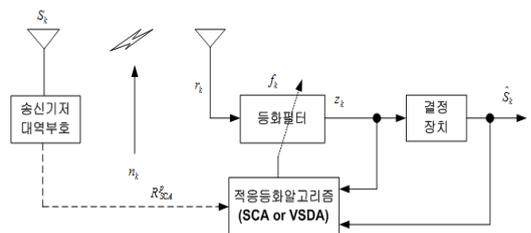


그림 1. 기저 대역 통신 시스템

Fig. 1. Baseband communication system

2. SCA 알고리즘

일반적으로 CMA 알고리즘에서는 등화기 출력을 영-오차 윤곽선에서 반경 R_{CMA} 인 원주 상에 위치하도록 등화기 계수를 조절하지만 SCA 알고리즘에서는 그림 2 와 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(2)와 같다.

$$J_{SCA} = E\{(|z_{kR} + z_{kI}| + |z_{kR} - z_{kI}|)^p - R_{SCA}^p\}^2 \quad (2)$$

여기서 z_{kR} , z_{kI} 는 등화 필터의 출력 z_k 의 실수와 허수, p 의 값은 2, R_{SCA} 는 constellation dependent constant 또는 dispersion constant라고도 하며 다음과 같이 정의 된다.

$$|z_{kR} + z_{kI}| + |z_{kR} - z_{kI}| = 2 \max\{|z_{kR}|, |z_{kI}|\} \quad (3)$$

$$\max\{|z_{kR}|, |z_{kI}|\} = \frac{R_{SCA}}{2}$$

이를 이용하여 등화기의 탭 계수 갱신을 위한 오차 함수는 식(4)와 같다.

$$e_{SCA} = ((|z_{kR} + z_{kI}| + |z_{kR} - z_{kI}|)^p - R_{SCA}^p) (|z_{kR} + z_{kI}| + |z_{kR} - z_{kI}|)^{p-1} \times (\text{sgn}[z_{kR} + z_{kI}](1+j) + \text{sgn}[z_{kR} - z_{kI}](1-j)) \quad (4)$$

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

$$R_{SCA}^p = \frac{E\{(|s_{kR} + s_{kI}| + |s_{kR} - s_{kI}|)^p \cdot Q\}}{E\{Q\}} \quad (5)$$

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

가 되며 식(4)의 오차 함수를 이용하여 SCA 알고리즘에서도 등화 필터의 계수를 갱신한다.

$$f_{k+1} = f_k - \mu \overline{e_{SCA}} r_k^* \quad (6)$$

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 있다^[3].

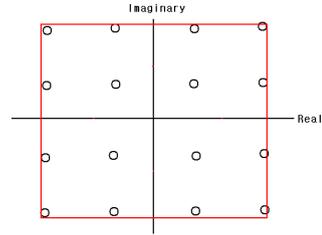


그림 2. SCA 알고리즘의 영-오차 윤곽선
Fig. 2. Zero-error contour of SCA algorithms

3. Radius Adjustment 개념

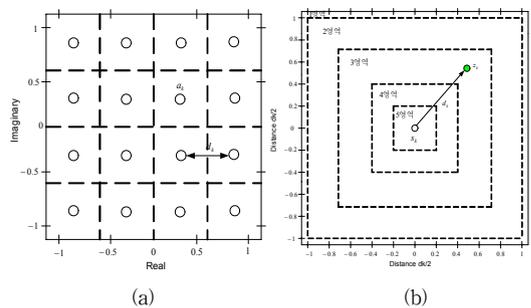
그림 2와 같은 정적인 square contour는 QAM constellation에서 심볼 추정치의 주위에서 정의되므로 Radius Adjustment를 위하여 이는 가변 적용 단계에 mapping되어질 영역이 형성된다. 고정된 스텝 크기 μ_k 와 weighting factor β 에 해당되는 영역은 다음과 같이 정의되는 등화기 출력의 거리 d_k 를 기본으로 시변 적용 등화기 탭 계수의 갱신에 이용된다.

$$d_k = \frac{|(s_{kR} - z_{kR}) + (s_{kI} - z_{kI})|}{2} + \frac{|(s_{kR} - z_{kR}) - (s_{kI} - z_{kI})|}{2} \quad (7)$$

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

$$d(n) = \max[|s_{kR}(n) - z_{kR}(n)|, |s_{kI}(n) - z_{kI}(n)|] \quad (8)$$

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_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. 반복적인 접근 방식에 의한 오차 함수간의 평탄한 천이를 위해서는 0 과 1 사이에서 λ_k 의 값을 설정해야 한다^[4].

4. VSDA 알고리즘

VSDA 알고리즘에서는 식(2)의 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 (8), 오차 함수를 식 (9), 탭 계수 갱신식을 식 (10)에 나타내었다.

$$J_{VSDA} = \lambda_k E[(|z_{kR} + z_{kI}| + |z_{kR} - z_{kI}|)^p - R_{SCA}^p]^2 + \frac{1}{2}(1 - \lambda_k) E[\hat{s}_k - (z_k)^2] \quad (8)$$

$$e_{VSDA} = \lambda_k e_{SCA} + (1 - \lambda_k) \beta d_k \quad (9)$$

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

여기서 p 는 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. 가변 스텝을 위한 λ_k 는 다음의 규칙을 적용하였다.

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

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

point에 대한 지식을 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

VSDA 블라인드 적응 등화 알고리즘의 성능을 기존의 SCA와 비교를 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션을 위한 파라미터로는 SNR을 30dB, 적응 스텝 크기 $\mu = 0.0008, \mu_{\max} = 0.007, \mu_{\min} = 0.00001$ 및 CME를 위한 가중치 $\beta = 5.3052$, 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 신호 r_k 를 얻었으며 시뮬레이션을 위한 신호 처리 과정을 그림 4에 나타내었다. 채널에서 발생하는 찌그러짐을 보상하기 위한 필터 계수의 갱신은 SCA와 VSDA 알고리즘인 식(6)과 식(10)을 적용하며, 그림 5는 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 균지연이 발생됨을 알 수 있다.

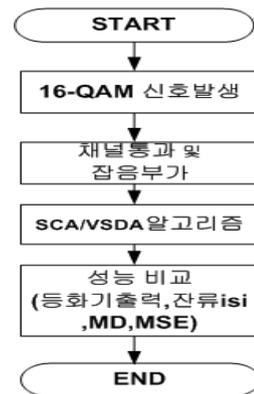
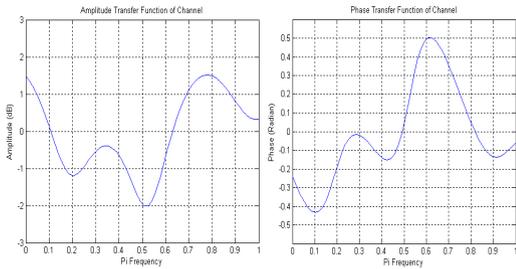


그림 4. 신호 처리 흐름도

Fig. 4. Signal processing flowdiagram



(a) 진폭 전달 함수 (b) 위상 전달 함수

그림 5. 채널의 주파수 전달 함수
Fig. 5. Frequency transfer function of channel

이상의 시뮬레이션 환경을 통하여 SCA와 VSDA 알고리즘을 구현하여 이들의 성능을 비교하였다. 성능 비교를 위한 지수로는 등화기 출력 신호 constellation, 잔류 isi와 최대 찌그러짐, MSE를 사용하였다. 첫 번째 지수로서 그림 6은 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 분포하기 때문에 부호간 간섭에 의한 진폭과 위상 찌그러짐이 상당히 보상됨을 알 수 있다. SCA의 정상도에 비해 VSDA는 정상도는 폭이 조금 넓어 보이며 진폭 보상 능력에서는 SCA가 우월함을 알 수 있다.

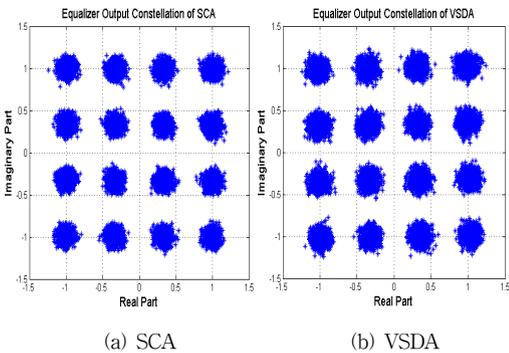


그림 6. 등화기 출력 신호 정상도
Fig. 6. Signal constellation of equalizer output

두 번째로 적응 등화기의 성능을 나타내는 지수로는 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 되

며 주파수 영역에서는 평탄한 전달 특성을 갖게 된다. 그러나 시간 영역에서 이의 완전 보상은 불가능케 되어 임펄스 성분을 제외한 나머지 잔류 성분들의 크기를 나타내므로 이들의 양이 적을수록 우수한 성능을 갖게 되며, 최대 찌그러짐은 그림 6의 출력 신호 정상도에서 원래의 신호점을 중심으로 그 벌어짐의 정도를 나타내는 폭을 의미하며, 마지막으로 MSE는 이들의 알고리즘에서 등화기 출력과 복원 신호와의 진폭 차이의 자승치를 나타낸 것으로 이들은 다음의 식과 같이 정의된다.

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

$$\text{최대 찌그러짐} = \frac{\sum |h_k^* f_k| - |h_k^* f_{k_{\max}}|}{|h_k^* f_{k_{\max}}|}$$

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

그림 7은 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 SCA는 2237회, VSDA는 1996회가 필요케 되어 수렴 속도 측면에서 VSDA가 SCA보다 1.12배 빠름을 알 수 있으며 정상 상태 이후에도 이들의 양이 매우 동일해짐을 알 수 있다. 이는 잔류 isi양이 radius adjustment에 의한 CME항이 SCA보다 부가되어 이들의 변동 범위도 적게 되어 misadjustment에 의한 등화 잡음이 적어짐을 알 수 있다.

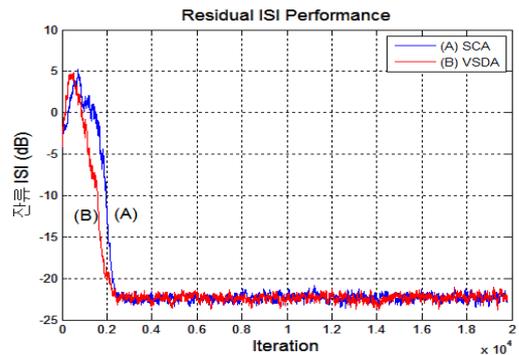


그림 7. 잔류 isi 성능
Fig. 7. Residual isi performance

그림 8은 두 번째 성능 비교 지수인 최대 찌그러짐 성능을 나타낸 것이다. 이는 그림 6의 정상도에서 송신 신

호점을 중심으로 그 폭을 나타내는 것으로 등화 초기의 상태에서 서서히 감소되며 수렴 속도에서는 VSDA가 빠르지만 정상 상태로 진입한 후 그 양에서는 VSDA와 SCA보다 유사함을 알 수 있다.

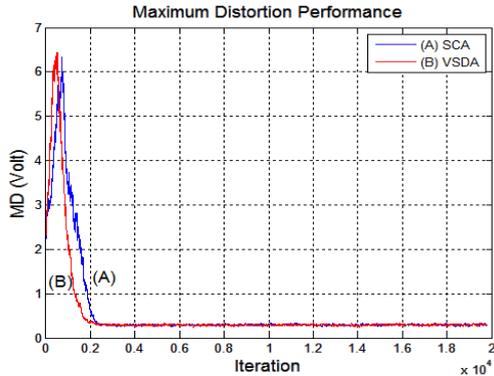


그림 8. 최대 찌그러짐 성능
Fig. 8. Maximum distortion performance

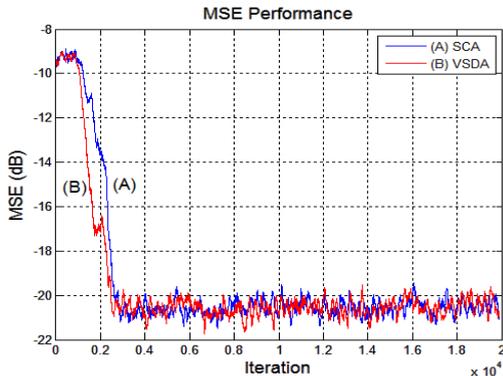


그림 9. MSE 성능
Fig. 9. MSE performance

그림 9는 마지막 성능 비교 지수인 MSE 성능을 나타낸 것이다. 여기서도 초기의 상태에서 정상 상태에 도달하기 위하여 SCA는 2605회, VSDA는 2465회가 필요하게 되어 VSDA가 SCA보다 1.06배 정도 수렴 속도가 빠르지만 정상 상태 이후의 그 양의 분산이 커짐을 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 평균과 분산을 나타낸 것이다. 잔류 isi와 MSE는 정상 상태에서 평균치의 값이 동일하지만 분산값이 VSDA가 크게 나타났다. 3가지 비교 지수에서

SCA보다 VSDA 알고리즘이 수렴 속도에서만 빠름을 알 수 있다.

표 1. 성능 지수의 통계치

Table 1. Statistics of performance index

	SCA		VSDA	
	평균	분산	평균	분산
잔류 isi	0.0059	3.0470e-7	0.0059	4.9112e-7
	0.2939	1.5802e-4	0.2935	1.8574e-4
최대 찌그러짐	0.0088	4.4093e-7	0.0088	5.0010e-7
	0.0088	4.4093e-7	0.0088	5.0010e-7

V. 결론

논문에서는 대역 제한과 다중 경로 통신 채널에서 발생하는 부호간 간섭을 최소화하기 위한 적응 등화 알고리즘인 SCA와 VSDA의 성능을 분석하였다. VSDA 알고리즘은 기존 SCA 알고리즘에서 constellation matching error를 줄이기 위한 radius 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 isi와 최대 찌그러짐 및 MSE를 이용하여 컴퓨터 시뮬레이션하였다. 시뮬레이션 결과 잔류 isi에서는 정상 상태에 도달하기 위하여 SCA에서는 2237회, VSDA에서는 1996회가 소요되어 수렴 속도에서 VSDA가 빠름을 알 수 있었으며 표 1의 정량적인 분석을 통하여 수렴 속도와 최대 찌그러짐이 우월했지만 misadjustment에 의한 등화 잡음이 SCA보다 커짐을 알 수 있었다. 이와 같은 연구 결과를 바탕으로 향후 고속, 광대역의 양방향 및 실시간 트래픽 전송과 같은 다양한 무선 전송 분야에서 다중 경로 페이딩을 영향을 줄일 수 있어서 통신 시스템의 throughput을 개선시킬 수 있어서 이들 보다 개선된 성능을 갖는 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", World Academy of Science Eng. and Technology, pp.200~208, 2009.
- [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] KH.Oh, "A Design of Error Signals Effective for Blind Equalization in Both of Initial Phase and Steady-State", Journal of K.I.I.T., Vol.10, No.6, pp.45~51, June 2012.
- [6] Lim S.G., "Performance of VSCA Adaptive Equalization Algorithm for 16-QAM Signal", Journal of I.I.B.C., Vol.13, No.4, pp.67~73, Aug. 2013.
- [7] S.U.H.Qureshi, "Adaptive Equalization", Proce. of the IEEE 73(9), pp.1349~1387, 1985.

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>