

<http://dx.doi.org/10.7236/JIWIT.2012.12.4.7>

JIWIT 2012-4-2

적응 등화를 위한 ISCA와 MSCA 알고리즘의 성능 비교

The Performance Comparison of the ISCA and MSCA Algorithm for Adaptive Equalization

임승각*, 강대수*

Seung-Gag Lim, Dae-Soo Kang

요 약 본 논문에서는 디지털 전송시 시분산 통신 채널에서 발생하는 부호간 간섭을 최소화시키기 위한 블라인드 등화 알고리즘인 ISCA (Improved Square Contour Algorithm)과 MSCA (Modified Square Contour Algorithm)의 성능을 비교하였다. 송신 신호는 통신 채널에서 진폭과 위상 전달 특성의 비선형성으로 인하여 대역 제한 및 시분산되어 수신될 것이므로 수신측에서 적응 등화기를 사용하여 찌그러짐을 보정한 후 검출기를 통과시켜 “1”과 “0”을 판정하게 된다. 이때 수신기에서 사용되는 적응 등화기의 알고리즘에서는 Constellation Dependent Constant가 매우 중요한 역할을 하며, 이의 계산을 위하여 ISCA와 MSCA에서는 2차 통계치만 이용하였다. 다른 알고리즘에 비해 비교적 간단한 연산으로 이들 2 가지의 전달 특성을 동시에 보상할 수 있는 알고리즘인 ISCA와 MSCA는 기존의 SCA (Square Contour Algorithm) 알고리즘 성능을 더욱 개선시킨 것으로 이들의 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 비교하였다. 이를 위하여 복원 정상도, 잔류 isi양 및 MSE를 사용하였으며, 성능의 비교 결과 모든 비교 지수에서 ISCA 알고리즘이 MSCA 알고리즘보다 우월함을 확인하였다. 그러나 등화 알고리즘이 정상 상태에서는 MSCA 의 CME항에 의하여 성능의 미소 변화량이 ISCA 보다 적어져서 높은 안정성을 얻을 수 있었다.

Abstract The performance of blind equalization algorithm ISCA was compared with MSCA that is used for the minimization of the inter symbol interference which occurs in the time dispersive communication channel for digital transmission. Because of the non-linearities of a magnitude and phase transfer characteristics of a communication channel, the transmitting signal will be received that band limited and time dispersed. Therefore the distortion was compensated by using the self adaptive equalizer at the receiving side, then passing through the detector for the decision of "1" or "0". At this time the Constellation Dependent Constant is played an important role in the adaptive equalizer used on the receiver. In order to calculation of this constant, the ISCA and MSCA was used the second order statistics. The ISCA and MSCA which are possible to compensation of mentioned transfer function simulataneously, are improved the performance of original SCA algorithm and then was compared the performance by computer simulation. For this, the recovered constellation, residual isi and MSE was used, and a result of performance comparison, the ISCA algorithm has better than the MSCA in every performance index. But on the steady state of equalizer, the variation of performance due to the CME terms in the MSCA equalization algorithm was less than the ISCA, so MSCA has better stability.

Key Words : Improved SCA, Modified SCA, time dispersive channel, 잔류isi, constellation dependent constant

*정희원, 공주대학교 정보통신공학부 정보통신공학전공
접수일자 : 2012년 6월 27일, 수정완료 : 2012년 7월 10일
게재확정일자 : 2012년 8월 10일

Received: 27 June 2012 / Revised: 10 July 2012

Accepted: 10 August 2012

**Corresponding Author: dskang@kongju.ac.kr

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

I. 서 론

최근 광대역, 멀티미디어 정보의 이용 형태가 다양화 되면서 디지털 정보 전송은 전파를 이용한 무선 매체의 이용이 급증하고 있는 실정이다. 전파를 이용하면 언제 (Any time), 어디서나 (Any where), 어떤 미디어 (Any media)라도 자유롭게 사용할 수 있는 이동성 (Mobility) 과 편의성을 얻을 수 있지만, 통신 채널에서는 다중 경로 페이딩과 대역 제한 특성 및 가우시안 부가 잡음 등이 부가된다^{[1][3]}. 이들 요인들은 디지털 전송시 부호간 간섭과 잡음 및 간섭이라는 장애 요인으로 등장하여 심볼 오류율 (SER : Symbol Error Rate)을 증가시키거나 동기 이탈의 원인이 되므로 전체적인 통신 시스템의 전송 효율 저하 및 성능을 열화 (Degradation)시키는 직접적인 원인이 된다. 이를 개선하기 위하여 기존의 동축 케이블, DSL 과 같은 유선 매체와 같이 통신 채널의 진폭과 위상 전달 특성이 시간과 장소에 따라 불변하는 시불변 채널의 경우 송신측과 수신측에서 사용하는 Tx Filter 와 Rx Filter로 사용되는 나이퀴스트 필터의 파라미터를 조절하여 최적의 상태로 유지시켜 부호간 간섭을 최소화시킬 수 있다^[8]. 그러나 이동 통신 채널과 같이 이의 특성을 알지 못하거나 시간과 장소에 따라 변동하는 시변 채널의 경우 채널의 2가지 특성을 추적하면서 이를 보상할 수 있는 블라인드 적응 등화기를 사용하여야 한다. 적응 등화기를 사용하면 통신 자원인 채널의 대역폭을 낭비시키지 않으면서도 전송 효율과 통신 시스템의 throughput을 증대시켜 서비스 품질을 개선시킬 수 있다^[7]. 현재 블라인드 적응 등화를 위한 알고리즘으로 널리 사용되고 있는 것은 CMA (Constant Modulus Algorithm)가 있다^{[3][4]}. CMA는 수신측에서 등화를 위한 알고리즘에는 송신측 신호에 대한 2차와 4차의 고차 통계치를 이용하는 Contant Modulus가 이용되지만, 진폭만 보상하며 위상에 대한 차등 부호화 방식 또는 위상 고정 루프가 필요케 된다. 이에 비해 송신 신호의 2차 통계치 만으로도 진폭과 위상의 동시 등화가 가능토록 Constellation Dependent Constant 또는 Dispersion Constant를 이용하는 SCA(Square Contour Algorithm)가 등장하였다^{[4][5]}. 이들 블라인드 적응 등화기에서는 등화기 출력 신호의 통계치가 Modulus 또는 Constant에 매칭 시키도록 등화 계수를 갱신하게 되는데, 이들 2 가지 알고리즘들은 다른 방식에 비해 비교적 간단한 연산으로 채널에 의한 진폭과 위상 찌그러

짐을 동시에 보상할 수 있어서 부호간 간섭을 최소화시킬 수 있는 능력을 갖고 있다. 특히 SCA의 성능을 개선시키기 위하여 sinusoidal constellation matching error항을 비용 함수에 추가하여 수렴 속도를 개선하고 16 또는 256-QAM의 고차 신호에서 잔류 isi양을 줄일 수 있는 MSCA (Modified SCA)와 영 오차 Square Contour를 Multiple로 확장시켜 적응 등화기 계수 갱신 오차를 줄여 안정적으로 동작시킬 수 있는 ISCA (Improved SCA)가 등장하였다^{[2][3]}. 본 논문에서는 주어진 통신 채널과 신호 대 잡음비 하에서 이들 2 가지 MSCA와 ISCA 블라인드 적응 등화 알고리즘 성능을 비교하였으며, 이를 위한 지수로는 잔류 isi와 MSE 및 복원 정상도를 사용하였다. 2 장에서는 기본적인 SCA, MSCA, ISCA 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 CAP (Carrierless AM/PM), 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 부가되어 수신된다. 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 와 \hat{s}_k 를 이용하여 다음에 설명되어질 MSCA 또는 ISCA 알고리즘을 적용하여 각각의 비용 함수를 최소화시키도록 적응적으로 변화시킨다. 등화기는 일반적으로 탭의 개수가 유한하며 필터의 안정성 (Stability)이 보장되는 FIR 형태를 주로 사용하며 필터에 의한 지연 시간은 무시하다.

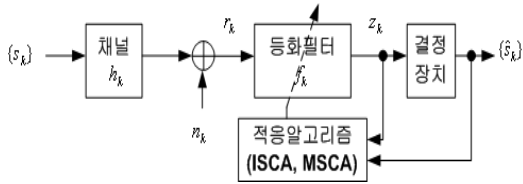


그림 1. 기저 대역 통신 시스템
Fig. 1. Baseband Communication System

2. SCA 알고리즘

일반적으로 CMA 알고리즘에서는 등화기 출력을 영-오차 윤곽선에서 반경 R_{CMA} 인 원주 상에 위치하도록 등화기 계수를 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.

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

$$\max\{|z_{kr}|, |z_{ki}|\} = \frac{R_{SCA}}{2}$$

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 있게되므로

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

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

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

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

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^[5].

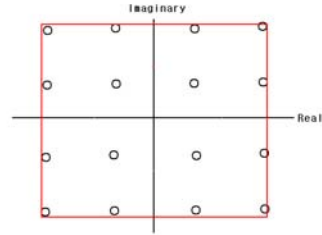


그림 2. SCA 알고리즘의 영-오차 윤곽선
Fig. 2. Zero-error contour of SCA algorithms

3. ISCA 알고리즘

ISCA 알고리즘에서의 비용 함수는 다음의 식(6)과 같이 정의된다.

$$J_{ISCA} = \frac{1}{2^p} E\{((|z_{kr} + z_{ki}| + |z_{kr} - z_{ki}|)^p - A_k (2 \cdot R_{ISCA})^p)^2\} \quad (6)$$

ISCA 등화기에서 다음과 같이 정의되는 오차 함수를 이용하여 탭 계수를 갱신한다.

$$\overline{e_{kISCA}} = ((|z_{kr} + z_{ki}| + |z_{kr} - z_{ki}|)^p - A_k \cdot (2R_{ISCA})^p) \cdot (|z_{kr} + z_{ki}| + |z_{kr} - z_{ki}|)^{p-1} \cdot [(\text{sgn}(z_{kr} + z_{ki}) + \text{sgn}(z_{kr} - z_{ki})) + j(\text{sgn}(z_{kr} + z_{ki}) - \text{sgn}(z_{kr} - z_{ki}))] \quad (7)$$

여기서 A_k 는 결정 장치의 출력이 square contour상에 위치시키도록 하는 scale 상수를 말하며 다음의 관계식을 만족해야 한다.

$$A_k = \max[z_{kr}, z_{ki}] \quad (8)$$

또한 ISCA의 dispersion constant는 등화기의 출력이 송신 신호의 정상도의 통계치와 일치시키도록 이득을 조절하는 중요한 역할을 수행하며 다음과 같다.

$$R_{ISCA}^p = \frac{E[(|s_{kr} + s_{ki}| + |s_{kr} - s_{ki}|)^p \cdot Q^*]}{2^p E[A_k Q^*]} \quad (9)$$

식 (9)에서 정의되는 dispersion constant R_{ISCA} 와 A_k 에 의해 ISCA 알고리즘의 등화기 출력이 그림 3의 multiple error square contour상에 존재하도록 동작하게 된다. 16-QAM 신호인 경우 2개, 64-QAM 신호인 경우 4개, 256-QAM 신호인 경우 8개의 multiple contour를 발생시키게 된다. 이들 이용하여 식(5)의 계수 갱신식을 적용하며, 그림 3은 16-QAM의 경우 ISCA의 error contour를 나타낸 것이다. contour의 수가 증가될수록 고차 QAM 신호의 진폭 보상 능력을 개선시킬 수 있다^[3].

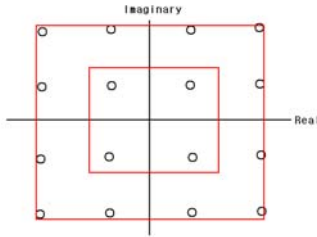


그림 3. ISCA 알고리즘의 영-오차 윤곽선
Fig. 3. Zero-error contour of ISCA algorithm

4. MSCA 알고리즘

SCA 알고리즘에서 수렴 속도를 개선시키기 위하여 비용 함수에 CME (Constellation Matching Error)항을 추가시킨 것으로 비용 함수는 식(10)과 같다.

$$J_{MSCA} = E \left\{ \left((|z_{kr} + z_{ki}| + |z_{kr} - z_{ki}|)^p - R_{SCA}^p \right)^2 + \beta \left[\left(1 - \sin^{2n} \left(\frac{z_{kr}}{2d} \pi \right) \right) + \left(1 - \sin^{2n} \left(\frac{z_{ki}}{2d} \pi \right) \right) \right] \right\} \quad (10)$$

여기서 β 는 SCA와 CME항간을 trade off시키는 weighting factor의 값을 나타내며, d 는 QAM 심볼점간 거리를 나타낸다. CME 함수는 각 신호점에서 0이 되도록 설계되어지며, sinusoidal power function이 사용된다. MSCA 등화기의 탭 계수는 식(5)와 같이 갱신되며, 이때 오차 함수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \overline{e_{k_{MSCA}}} &= \overline{e_{k_{SCA}}} + \beta n_k \quad (11) \\ n_k &= -\frac{n\pi}{d} \left[\sin^{2n-1} \left(\frac{z_{kr}\pi}{2d} \right) \cos \left(\frac{z_{kr}\pi}{2d} \right) \right. \\ &\quad \left. + j \sin^{2n-1} \left(\frac{z_{ki}\pi}{2d} \right) \cos \left(\frac{z_{ki}\pi}{2d} \right) \right] \end{aligned}$$

β 의 값을 적당하게 조절하면 MSCA의 수렴은 초기에 SCA 오차항에 의해 지배적으로 결정된다. 즉 SCA 오차항은 초기 수렴 시 등화기 출력의 퍼짐이 square로부터 최소화되도록 올바른 방향으로 수렴토록 작동하며, 초기 수렴 후에는 정확한 오차 값은 등화기의 성능을 개선토록 CME 오차로부터 결정된다. 전체적인 수렴 과정에서 SCA항은 등화기 탭 계수를 올바른 방향으로 갱신시키는 global convergence를 제공하여 개략적인 수렴을 결정하며, 정상 상태에 도달한 후의 섬세한 local convergence에서 CME항은 잔류 오차를 경감시키도록 한다^[2].

III. 컴퓨터 시뮬레이션

ISCA와 MSCA 블라인드 적용 등화 알고리즘의 성능 분석을 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 과정에서는 SNR,을 30dB, 적용 스텝 크기 μ 를 동일하게 0.005로 설정하였고 등화기용 적용 필터의 차수는 17차 FIR로 설정하였다. 송신 복소 신호로는 4,16,256-QAM 신호를 발생시킨 후 표 1의 계수를 갖는 통신 채널을 통과시켜 수신 신호 r_k 을 얻었으며 시뮬레이션을 위한 신호 처리 과정을 그림 4에 나타내었다. 송신 신호는 표 1의 채널을 통과시켜 부호간 간섭 효과를 얻을 수 있는 찌그러짐을 준 후, SNR에 따른 잡음 전력을 갖도록 백색 가우시안 잡음을 부가하여 수신측의 적용 등화 필터의 입력 신호로 사용하였다. 채널에서 발생하는 찌그러짐을 등화하기위한 필터 계수의 갱신은

ISCA와 MSCA 알고리즘에서는 식(5)를 적용하였는데, 이때 이들 알고리즘들의 오차 신호로는 식(3)과 (7)을 각각 적용하였다.

그림 5는 송신된 16-QAM 신호와 신호대 잡음비 30dB 인 경우 채널을 통과하여 수신된 신호의 성상도를 나타낸 것이다. 수신 신호의 성상도에서는 송신 신호의 16개 심볼점이 채널을 통과한 후 잡음이 추가되어 수신되면 이들 간에 부호간 간섭과 랜덤 잡음에 의해 이들 신호점의 구별이 어려울 정도로 채널에 의한 찌그러짐이 발생되었으며 이를 등화 알고리즘의 입력 신호로 사용하였다.

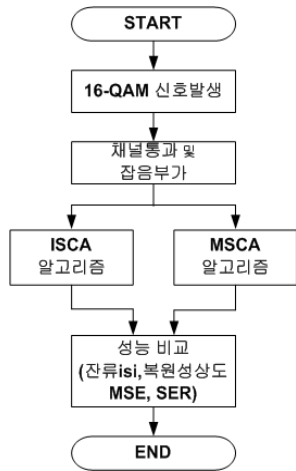


그림 4. 신호 처리 흐름도
Fig. 4. Signal Processing Flowdiagram

표 1. 통신 채널의 계수

Table 1. Coefficient of communication channel

h(0)	1.0	h(1)	0.0
h(2)	0.2295-j0.1933	h(3)	0.0
h(4)	0.0	h(5)	0.1393-j0.1435

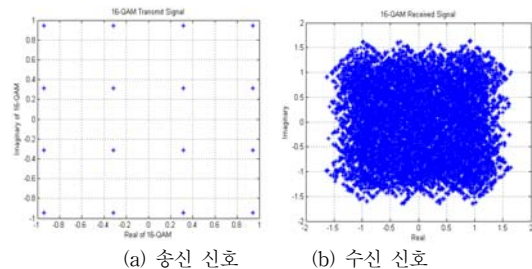
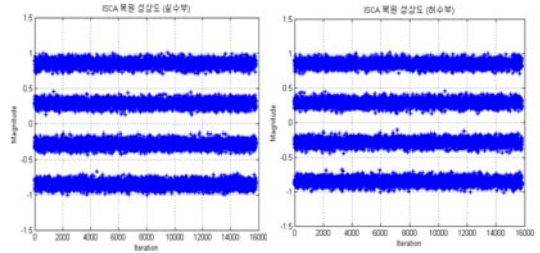
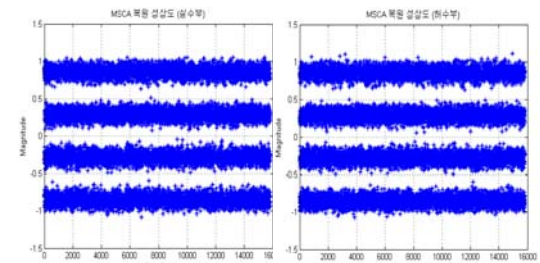


그림 5. 송신 신호와 수신 신호
Fig. 5. Transmit and Received signal

그림 6은 그림 5의 수신 신호를 ISCA와 MSCA 알고리즘의 등화기 입력으로 인가할 때 복원된 신호 성상도의 실수와 허수부를 iteration에 대비하여 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 ISCA 알고리즘이 MSCA 알고리즘보다 각 신호점간의 거리가 멀어지며, 각 신호점 폭이 상대적으로 적게 되어 진폭을 보상하는 능력이 뛰어난을 알 수 있다.



(a) ISCA 복원 성상도 (실수 및 허수)



(b) MSCA 복원 성상도 (실수 및 허수)

그림 6. 복원 신호 성상도
Fig. 6. Recovered signal constellation

블라인드 적응 등화기의 성능을 나타내는 지표로는 잔류 isi (Residual isi)와 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 불가능해 되어 임펄스 성분을 제외한 나머지 잔류 성분들의 크기를 나타내며 다음과 같이 정의된다.

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

또한 MSE는 송신 신호 s_k 와 등화기 출력 신호 z_k 의 차이의 자승치를 나타낸 것으로 다음과 같이 정의된다.

$$MSE|_{dB} = 10 \log_{10} [s_k - z_k]^2 \quad (13)$$

그림 7은 첫 번째 성능 평가 지수인 식(12)의 잔류 isi를 4, 16, 256-QAM 신호를 대상으로 16000회 반복 수행시킬 때 ISCA와 MSCA 알고리즘의 결과를 나타낸 것으로 고차 신호에서도 양호한 특성을 얻을 수 있다. 초기의 1800회 정도의 구간에서는 과도기로서 안정되지 빠른 수렴 특성을 가지며, 이후부터는 정상 상태로써 ISCA가 MSCA 보다 적은 잔류 isi양을 가지지만 CME항에 의해 미세한 변화는 MSCA가 적음을 알 수 있다.

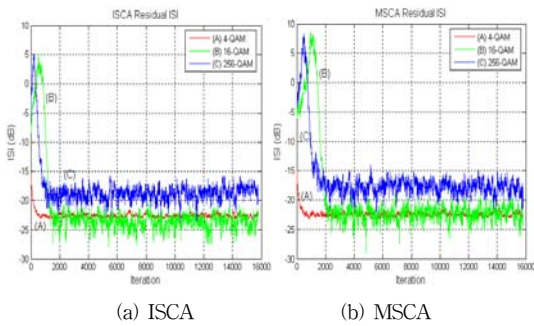


그림 7. 잔류 isi
Fig 7. Residual isi

그림 8은 마지막 성능 평가 지수인 식(13)의 MSE 분포를 16000회 반복 수행시킬 때의 결과를 나타낸 것이다. 전체적인 MSE 분포에서는 ISCA가 MSCA보다 평균적으로 우월함을 알 수 있으며 수렴 속도에서도 우월함을 알 수 있다. MSE 성능은 QAM 신호의 레벨수가 많아질 수록 오차는 커지게 되는데, 이는 SCA 알고리즘의 한계점이기도 하며 이를 개선하기 위한 연구도 진행 중이다.

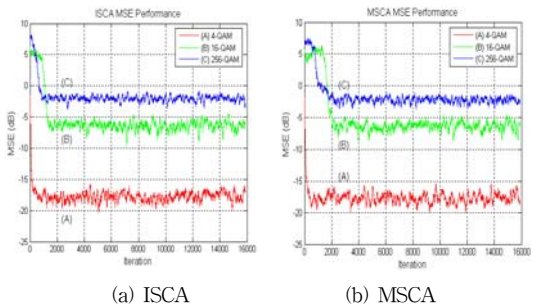


그림 8. MSE
Fig 8. Mean Square Error

표 2는 그림 7과 8의 잔류 isi와 MSE 분포에서 16-QAM 신호에 대한 이들의 통계적인 평균값과 분산을 나타낸 것으로서 2가지 비교 지수에서 ISCA가 MSCA 알고리즘보다 우월함을 알 수 있다.

표 2. 잔류 isi와 MSE의 통계치
Table 2. Statistics of residual isi and MSE

	ISCA		MSCA	
잔류 isi	평균	0.0869	평균	0.0885
	분산	0.1030	분산	0.0917
MSE	평균	0.4553	평균	0.5730
	분산	0.6215	분산	0.9266

V. 결론

논문에서는 대역 제한과 다중 경로 통신 채널에서 발생하는 부호간 간섭을 최소화하기 위한 적응 적응 등화 알고리즘인 ISCA와 MSCA의 성능을 비교하였다. 이들 알고리즘은 SCA의 2차 통계치로 정의되는 constellation dependent constant를 이용하지만 ISCA는 복수개의 영-오차 윤곽선을 적용하여 진폭과 위상 보상 능력을 개선하였으며 MSCA는 SCA의 단일 영-오차 윤곽선의 특징에 constellation matching error 개념을 조합시켜 수렴 속도 및 정상 상태에서 성능의 미소 변화량을 개선시키기 위해 등장하였다. 성능 비교를 위해 4, 16, 256-QAM을 송신 신호로 사용하였으며 동일한 채널 계수와 신호 대 잡음비 및 적응 스텝 크기를 적용하여 복원 신호 정상도와 잔류 isi 및 MSE를 컴퓨터 시뮬레이션으로 확인하였다. 시뮬레이션 결과 ISCA 알고리즘이 복원 정상도와 잔류 isi 및 MSE에서 MSCA 알고리즘보다 우월하였다. 그러나 MSCA 알고리즘은 정상 상태에서 성능의 미소 변화량이 ISCA 보다 적게 되어 안정된 보상이 가능함을 알 수 있다. 향후 고속, 광대역의 양방향 및 실시간 트랙픽 전송 등 다양한 무선 전송 분야에 적용될 때 CMA보다 개선된 성능 특성을 갖는 SCA 계열의 등화 알고리즘에 대한 지속적인 연구가 필요할 것이다.

참고 문헌

[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] S.A.Sheikh, P.Fan, "Improved square algorithm for Blind Equalization of QAM Signals", Multi-topic conf., 2006 INMIC IEEE, pp.116~119, 2006
- [4] T.Thaiupathump, L.He, S.A.Kassam, "Square contour algorithm for blind equalization of QAM signal", Signal Processing 86, pp.3357~3370, 2006
- [5] T.Thaiupathump, S.A.Kassam, "Suare contour Equalization & Carrier Phase Recovery", Proc. algorithm: A New Algorithm for blind IEEE Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, pp. 647~651, 2003
- [6] X.L.Li, W.J.Zeng, "Performance Analysis and Adaptive Newton Algorithms of Multimodulus Blind Equalization Criterion", Signal Processing, Vol. 89, pp.2263~2273, Nov. 2009
- [7] KH.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
- [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

※ 이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 "기초연구사업 (No. 2010-0009957)" 으로 수행된 연구결과의 일부를 게재한 것임.

저자 소개

임 승 각(정회원)



신공학부 교수.

<주관심분야 : 방송/통신 시스템, 이동통신>

- 1983년 : 숭실대학교 전자공학과 학사 졸업.
- 1985년 : 경희대학교 전자공학과 석사 졸업.
- 1997년 : 경희대학교 전자공학과 박사 졸업
- 2005년 ~ 현재 : 공주대학교 정보통신공

강 대 수(정회원) 교신저자



학부 교수.

<주관심분야 : 디지털통신, 신호처리, 이동통신>

- 1983년 경희대학교 전자공학과 학사 졸업.
- 1985년 경희대학교 전자공학과 석사 졸업.
- 1992년 경희대학교 전자공학과 박사 졸업
- 2005년 현재 공주대학교 정보통신공