

<http://dx.doi.org/10.7236/JIWIT.2012.12.2.127>

JIWIT 2012-2-16

RCA 비용 함수를 개선한 Advanced CMA 등화기 알고리즘

Advanced-CMA Blind Equalizer by Improvement of the RCA Cost Function

윤재선*, 임승각**

Yoon-Jae Sun, Lim-Seung Gag

요 약 본 논문은 기존의 CMA(Constant Modulus Algorithm) 적응 등화기 성능인 수렴 특성과 잔류 부호간 간섭의 영향을 경감시키기 위해 비용 함수를 개선한 ACMA(Advanced CMA)에 관한 것이다. CMA는 진폭만을 보상하고 위상은 보상을 하지 못하며, RCA(Reduced Constellation Algorithm)는 진폭과 위상을 보상 하지만 수렴 특성이 불안한 문제점이 있다. CMA의 단점인 위상의 문제를 해결기 위한 MCMA는 실수부와 허수부를 따로 처리하여 진폭과 위상을 보상하지만 하드웨어의 복잡도와 진폭의 보상 능력에서는 CMA보다 열악해지는 문제점이 있다. 제안하는 ACMA에서는 CMA와 MCMA(Modified CMA) 알고리즘 장점만을 살릴 수 있도록 비용 함수를 개량하여 진폭과 위상의 보상, 빠른 수렴 속도 및 잔류 ISI 감소와 양호한 심볼 오류율 (SER) 특성을 얻을 수 있음을 컴퓨터 시뮬레이션으로 확인하였다.

Abstract In this paper, the concerned CMA (Constant Modulus Algorithm) adaptive equalizer convergence rate and residual inter-symbol interference using cost function in order to improved to the ACMA (Advanced CMA). The CMA method compensates amplitude but does not compensate phase. On the other hand, The RCA (Reduced Constellation Algorithm) method compensates both the amplitude and the phase but it has the convergence rate problem. MCMA method is a way to solve the phase problem of CMA method compensates both the amplitude and the phase after respectively calculating the real and imaginary components. But it is more than poor CMA method in the complexity of hardware and the compensation performance. The cost function can advantages by improving the CMA and a MCMA (Modified CMA) equalizer so that the amplitude and phase retrieval the equalization steady-state to reduce the error by using ISI and faster convergence rate and performance is good SER (Symbol Error Ratio) was confirmed by computer simulations .

Key Words : Modified CMA, CMA, Advanced CMA, RCA, 등화 이득

I. 서 론

통신 시스템에서 다중 경로와 대역 제한 특성을 같은

채널에 의한 심벌간 간섭(ISI : InterSymbol Interference) 영향을 피할 수 없다. 이와 같은 채널에서 고속 전송을 위한 고효율의 변복조 방식이 필요하게 되며 이때 고려

*준회원, 공주대학교 정보통신공학부

**정회원, 공주대학교 정보통신공학부, 교신저자
접수일자 2012년 1월 10일, 수정완료 2012년 3월 2일
게재확정일자 2012년 4월 13일

Received: 10 January 2012 / Revised: 2 March 2012 /

Accepted: 13 April 2012

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

Dept. of Information and communication system, Kongju National university, Korea

되는 방식이 16-QAM 방식이다. 그러나 16-QAM과 같은 multilevel 방식인 경우 binary level 방식에 비해 ISI의 영향을 크게 받으므로 이를 경감시키기 위해 수신기에서 등화기를 사용하여 가능한 한 눈 모양 (Eye Pattern)을 열리게 해야 한다[1][2].

CMA는 이와 같은 목적으로 사용되는 등화기의 알고리즘으로써 계산의 단순성으로 인하여 가장 널리 사용되지만, 수렴 후 정상 상태 오차가 일정 레벨 이하로 작아지지 않는 수렴 특성이 있으므로 이를 해결하는 방법으로 수렴 상수(setp-size)를 작게 하거나, 초기 수렴 후 판정 의거(decision-directed : DD)로 전환하여 오차를 줄인다[3].

논문에서 제안하는 ACMA는 구조적으로 coordinate change를 통하여 신호의 위상을 복원하고 decision device에서 케환 시켜서 정상도 상에서 복원 신호점의 폭을 줄여 CMA와 이중 모드 MCMA보다 개선된 성능을 얻을 수 있다. 이 때, 오차 함수와 비용 함수를 동시에 동일한 스텝 사이즈로 갱신을 하면서 초기에 눈 모양이 닫힌 상태에서 이를 열도록 한다. CMA는 진폭을 복원하고 위상을 복원하지 못한다. 이에 비해 이중 모드 MCMA와 ACMA는 진폭과 위상을 복원 할 수 있지만, 특히 ACMA는 비용함수의 개선으로 이들 두 가지의 방식에 비해 잔류 ISI량과 MSE 및 개선된 심볼 에러률 (SER: Symbol Error Rate)을 얻을 수 있음을 시뮬레이션을 통하여 확인을 하였다[1].

2장에서는 기본적인 CMA에 대한 개요와 이중 모드 MCMA 및 ACMA에 대하여 설명을 한 후 위상을 복원할 수 있는 원리를 설명하였다. 3장에서는 컴퓨터 시뮬레이션 과정 및 성능 평가 결과를 제시 한 후 4장에서는 결론을 언급한다.

II. 본 론

1. CMA 및 RCA

그림 1은 CMA 적응 등화기와 RCA 적응 등화기를 사용하는 통신 시스템의 기저 대역 수신부를 나타낸 것이다[1]. 여기서 $s(k)$ 는 전송된 심볼(symbol), $c(n)$ 는 채널 임펄스 응답, $n(k)$ 는 채널에서 부가 되는 잡음, $x(k)$ 는 등화기 입력, $\hat{s}(k)$ 는 연판정 장치, 등화기 계수 벡터는 $f(k) = [f_0(k), f_1(k), \dots, f_{N-1}(k)]^T$ 이의 계수

입력 벡터는 $x(k) = [x(k), x(k-1), \dots, x(k-N+1)]^T$ 이고, $y(k)$ 를 등화기 출력을 나타내며, 이의 출력과 같다[7].

$$y(k) = f^T(k)x(k) \quad (1)$$

여기서 CMA와 RCA의 비용 함수를 J_{CMA} 와 J_{RCA} 라면,

$$J_{CMA}(f) = E[(|y_n|^2 - R_{CMA}^2)^2] = E[e^2(k)] \quad (2)$$

$$J_{RCA}(f) = E[y_n - R_{RCA} \text{csgn}(y_n)] = E[e^2(k)]$$

가 된다. 여기서 $\text{csgn}(\cdot) = \text{sgn}(\text{real}(\cdot)) + j \text{sign}(\text{imag}(\cdot))$ 의 나타내는 복소수이며, $R^2(n)$ 는 다음과 같이 정의되는 constant modulus 값으로 송신 신호 $S(k)$ 다음의 식 (4)와 같이 결정된다.

$$R^2(n)_{CMA} = \frac{E[|S(k)|^4]}{E[|S(k)|^2]^2}, \quad n = 1, 2, \dots, N$$

$$R^2(n)_{RCA} = \frac{E[|S(k)|^2]}{E[|S(k)|^1]}, \quad (3)$$

CMA의 오차 신호는 실수와의 값으로 표현되고, RCA의 오차 신호는 복소수가 된다. 즉 CMA는 등화기 출력 신호의 진폭 크기만을 보상하고 위상에 대해서는 보상이 불가능하지만, RCA는 진폭과 위상에 관한 정보를 포함하므로 진폭과 위상의 보상이 가능하게 된다. 이들 2가지 방식에서 가중치 벡터 $f(k+1)$ 의 갱신식은,

$$f(k+1)_{CMA} = f(k) - \mu x^*(k)y(k)e^2(k)$$

$$f(k+1)_{RCA} = f(k) - \mu x^*(k)R_{RCA}$$

(4)

가 되며, 여기서 μ 는 스텝 사이즈이다.

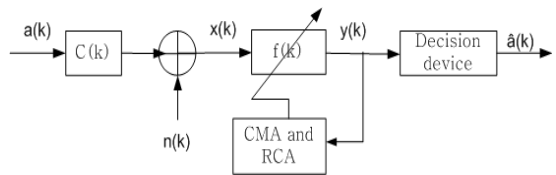


그림 1. CMA와 RCA 등화기 구조

Fig. 1. Structure of the CMA and RCA Equalizer

2. MCMA

MCMA는 정상 상태에서 MSE를 다 낮추기 위하여 실수부와 허수부에 대한 두 종류의 알고리즘을 사용하여 채널을 등화하고 동시에 위상 복원을 수행하기 위해 변

형된 CMA(MCMA : Modified CMA)이며, 그림 2의 MCMA의 비용 함수는 다음과 같다¹.

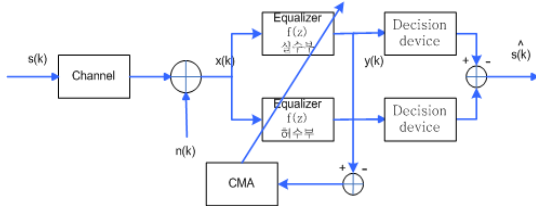


그림 2. MCMA 등화기 구조
Fig. 2. Structure of the MCMA Equalizer

$$J(f) = J_R(k) + J_I(k) \quad (5)$$

$$J_R(f) = E[|y_R(k)|^2 - R_{2,R}(k)]$$

$$J_I(f) = E[|y_I(k)|^2 - R_{2,I}(k)]$$

여기서 $J_R(k)$ 는 비용 함수의 실수 성분이며, $J_I(k)$ 는 허수 성분이다. 이것은 각각 등화기 출력 $y(k) = y_R(k) + jy_I(k)$ 의 실수 및 허수 성분에 대한 비용함수이며 이들에 대한 각각의 constant modulus는 아래와 같이 정의된다.

$$R_R^2(n) = \frac{E[|S_R(k)|^4]}{E[|S_R(k)|^2]} \quad (6)$$

$$R_I^2(n) = \frac{E[|S_I(k)|^4]}{E[|S_I(k)|^2]}$$

등화기를 최적화하기 위해 LMS(Least Mean Square) 알고리즘을 적용하여 식(6)의 비용함수를 최소로 하도록 하면, 탭 개수 갱신 식은

$$\begin{aligned} f(k+1) &= f(k) - \mu \cdot \widehat{\nabla} J(k) \\ &= f(k) - \mu \cdot e(k) \cdot x^*(k) \end{aligned} \quad (7)$$

가 되며, 여기서 오차신호 $e_{MCMA}(k)$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$e_{MCMA}(k) = e_R(k) + je_I(k) \quad (8)$$

$$e_R(k) = y_R(k)(|y_R(k)|^2 - R_R^2(k))$$

$$e_I(k) = y_I(k)(|y_I(k)|^2 - R_I^2(k))$$

변형된 CMA의 비용함수는 등화기 출력을 실수 및 허수 성분으로 분리하고, 각각에 대해 오차를 추정한다. 정상 상태에서 $e(k) = 0$ 으로 가정을 하면,

$$\begin{aligned} y_R^2(k) - R_R^2(k) &= 0 \\ y_I^2(k) - R_I^2(k) &= 0 \end{aligned} \quad (9)$$

이므로,

$$y_R = \pm \sqrt{R_R^2(k)} \quad (10)$$

$$y_I = \pm \sqrt{R_I^2(k)}$$

를 얻는다. 따라서 그림 2의 Convergence Detector에서의 출력에서 실수 성분을 원주 상의 임의의 점이 아닌 실수 축상의 $+\sqrt{R_R^2(k)}$ 또는 $-\sqrt{R_R^2(k)}$ 점에 놓이게 하고, 허수 성분 역시 $+\sqrt{R_I^2(k)}$ 또는 $-\sqrt{R_I^2(k)}$ 점에 놓이게 됨으로써 MCMA기법은 신호의 모듈러스(modulus)와 위상에 적용 되므로써 진폭과 위상을 동시에 보상 할 수 있다.

3. ACMA

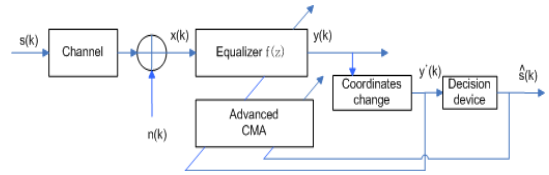


그림 3. Advanced CMA 등화기 구조
Fig. 3. Structure of the Advanced CMA Equalizer

그림 3의 ACMA등화기는 구조적으로 coordinate change를 통하여 신호의 위상을 복원하고 decision device에서 궤환 시켜서 정상도 상에서 복원 신호점의 폭을 줄여 CMA와 MCMA보다 개선된 성능을 얻을 수 있다. 이 때, 오차 함수와 비용 함수를 동시에 동일한 스텝 사이즈로 갱신을 하면서 초기에 눈 모양이 닫힌 상태에서 이를 열도록 하는 알고리즘이다.

가중치 벡터를 사용하기 위해서는 각각 N-탭 가중치 벡터를 사용하면,

$$f(k) = [f_{1,0}(k), \dots, f_{1,N-1}(k)]^T$$

이다.

그리고 등화기의 출력 신호를 표현 하면,

$$y(k) = x^T(k)f(k) \quad (11)$$

가 된다. 먼저 ACMA의 $y(k)$ 는 coordinate change 장치를 통과한 후 $y'(k)$ 얻는다.

그림 3에서 Advanced CMA부의 내부에서 정의 되는 비용함수는 Wei Rao에 의해 아래처럼 변형을 하였다.^{[9][10]}

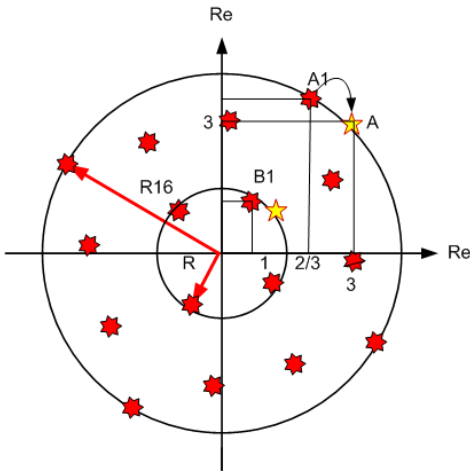


그림 4. 위상 복원 과정 ACMA
Fig. 4. ACMA with phase rotations process

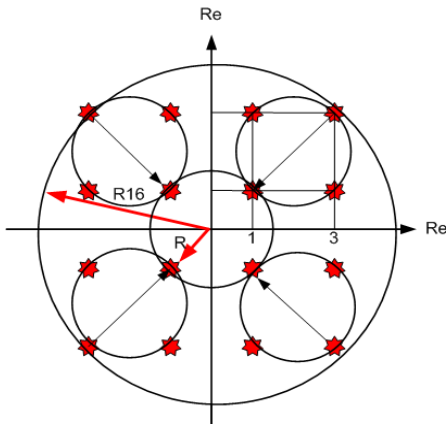


그림 5. 위상 변환 없이 축소된 ACMA
Fig. 5. ACMA with no phase rotations

$$y(k) = [X_r - 2\text{sign}(X_r)] + j [X_i - 2\text{sign}(X_i)] \quad (12)$$

여기서 X_r 와 X_i 는 X 의 각각 실수 부분과 허수 부분이고, 전송된 신호의 원래의 coordinate로 가정을 한다. 위와 같이 coordinate change를 통하여, 모든 신호들은 똑같은 단위원(圓)의 위치에 나타나게 되며, 원래 CMA의 비용 함수가 아닌 새로운 비용 함수를 적용한다.

$$J(f) = J_R(k) + J_I(k) \quad (13)$$

$$J_R(f) = E[|y_R(k)|^2 - R_{2,R}(k)]$$

$$J_I(f) = E[|y_I(k)|^2 - R_{2,I}(k)]$$

여기서 $J_R(k)$ 는 비용 함수의 실수 성분이며, $J_I(k)$

는 허수 성분이다. 이것은 각각 등화기 출력 $y(k) = y_R(k) + jy_I(k)$ 의 실수 및 허수 성분에 적용되며, 비용 함수는 등화기 출력을 실수 및 허수 성분으로 분리하고, 각각에 대한 오차를 추정한다. 이들에 대한 각각의 'constant modulus'는 아래와 같이 정의 된다.

$$R_R^2(n) = E\{[S_r(k) - 2\text{sign}(S_r(k))] + j[S_i(k) - 2\text{sign}(S_i(k))]\}^4 / E\{[S_r(k) - 2\text{sign}(S_r(k))] + j[S_i(k) - 2\text{sign}(S_i(k))]\}^2 \quad (14)$$

$$R_I^2(n) = E\{[S_r(k) - 2\text{sign}(S_r(k))] + j[S_i(k) - 2\text{sign}(S_i(k))]\}^4 / E\{[S_r(k) - 2\text{sign}(S_r(k))] + j[S_i(k) - 2\text{sign}(S_i(k))]\}^2 \quad (15)$$

등화기를 최적화하기 위해 LMS(Least Mean Square) 알고리즘을 적용하여 식(13)의 비용 함수를 최소로 하도록 하면, 탭 개수 갱신 식은

$$f(k+1) = f(k) - \mu \cdot \widehat{\nabla} J(k) \quad (16)$$

$$= f(k) - \mu \cdot e(k) \cdot x^*(k)$$

가 되며, 여기서 오차신호 $e_{ACMA}(k)$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$e_{MCMA}(k) = e_R(k) + je_I(k) \quad (17)$$

$$e_R(k) = y_R(k)(|y_R(k)|^2 - \widehat{R}_R^2(k))$$

$$e_I(k) = y_I(k)(|y_I(k)|^2 - \widehat{R}_I^2(k))$$

위의 수식 중에 (1),(14),(15),(16),(17)은 ACMA에서 coordinate change 부분이다. 그림 4에서 좌표 A1점이 좌표 A점과 좌표 B1점도 좌표 B점으로 위상이 등화기의 등화와 동시에 위상이 보정이 된다.

CMA는 등화기 출력의 반지름이 R 인 원을 중심으로 등화기의 출력이 분포하도록 오차 함수를 조정하게 된다. 이는 QAM의 차수가 증가하게 되므로 고차의 신호를 저차 신호로 coordinate change에서 오차 함수의 값을 줄일 수 있다. 그림 5는 원래의 QAM 신호는 동일한 반지름이 $R/16$ 인 점선의 원이 4개로 구분되어지지만, 이를 축소함으로써 4개의 원이 R 의 반지름 원으로 축소됨을 할 수 있다. 이와 같이 축소함으로써 채널이 완전히 등화 될 때 오차 함수를 기존의 CMA보다 개선되며, 수렴 속도는 빨라지게 되고 비용 함수 개선으로 인해 더욱 수렴 속도가 빨라지므로 등화기의 성능이 확연히 성능을 개선 할 수 있다.

III. 컴퓨터 시뮬레이션 및 결과

본 논문에서 제안된 ACMA의 성능을 알아보기 위해서 컴퓨터 시뮬레이션을 수행했으며, 성능 평가는 CMA 및 MCMA와 비교하는 것으로 하였다. 정상 상태에서의 평균 오차 값(MSE : Mean Square Error)과 잔류 심벌간 간섭(ISI : Inter-Symbol Interference) 성능 그리고 심벌 오류(SER : Symbol Error Rate)등을 성능의 비교 지수로 사용 하였다. 컴퓨터 시뮬레이션에서 등화기는 모두 17탭 트랜스버설(transversal)이고, 탭 개수는 가운데 것만 1이고, 나머지는 0이 되도록 초기화 하였다. 16-QAM 방식의 신호를 사용하였고 신호대 잡음비는(SNR : Signal-to-Noise Ratio) 등화기 입력에서는 20dB와 30dB로 두어 성능을 비교를 하였다. 이때 적용되는 스텝 크기는 모두 동일한 $\mu = 0.000001$ 이며, S채널 임펄스 응답은 $c(k)$ 은 다음과 같다

$$c(k) = [-0.005 - 0.004j, 0.009 - 0.3j, -0.0024 - 0.104j, 0.854 + 0.52j, -0.218 + 0.273j, 0.049 - 0.074j, -0.16 + 0.2j]^T$$

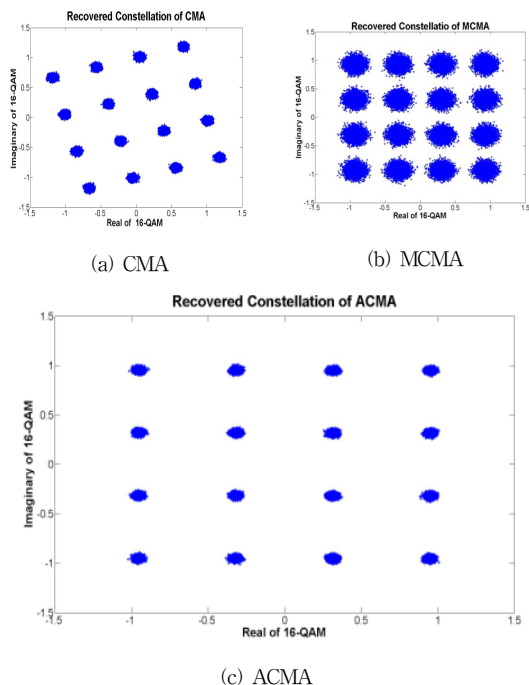


그림. 6. CMA와 MCMA 및 ACMA의 복원 성상도
Fig. 6. Recovered constellation of CMA and MCMA and ACMA

그림 6은 각 방식들을 적용할 때 등화기 출력 신호 $y(k)$ 의 복원 성상도를 나타낸 것이다. (a)의 CMA에서는 진폭 복원 성능이 우수하여 각 신호점들의 폭은 적지만 위상 보상이 불가능하여 위상 회전이 되어있음을 알 수 있다. 반면 (b)의 MCMA에서는 진폭과 위상을 보상하지만, CMA보다 진폭의 보상 능력은 떨어져 각신호점들의 폭이 매우 큼을 알 수 있다. 그러나 (c)의 ACMA는 진폭 및 위상이 보상됨을 알 수 있으며, 진폭 보상 능력을 보이는 각 신호점들의 폭이 적어서 다른 방식에비해 등화 능력이 향상됨을 알 수 있다. 그림 7과 8은 SNR을 20dB와 30dB일때의 잔류 ISI 성능을 비교한 것으로 100회의 독립적인 수행 결과이다. 잔류 ISI 성능에서는 CMA와 MCMA는 수렴을 하지 못하고 있지만, ACMA는 10,000번 정도에서 수렴을 가지며 정상 상태(-23dB)로의 수렴함을 알 수 있다. 세 알고리즘은 모두 수렴을 하는 특성은 유사하지만 ACMA는 다른 방식에비해 정상 상태에 도달하는 수렴 속도가 가장 빠름을 알 수 있다. 그림 9와 10에서는 두 번째 성능 비교를 위한 MSE를 나타낸 것이며 200회의 수행에서 얻어진 결과를 평균한 것이다. 그림 9에서 ACMA는 잔류 ISI의 정상 상태일때의 MSE값인 -6.5dB를 기준으로 10,000회에서 도달하지만, CMA와 MCMA는 수렴을 하고 있지만 25,000~30,000 정도에서 도달함을 알 수 있어서 MSE 성능에서도 우월함을 알 수 있었다. 마지막으로 그림 11은 SNR에따른 심볼 오류율 성능을 나타낸 것으로서 CMA는 위상을 보정되지 않기 때문에 MCMA와 ACMA를 비교 하였다. 등화기가 완전하게 수렴한 후 SER을 구하기 위해 5×10^5 을 iterations 이후 SER의 정확도를 높이기 위해서 시뮬레이션을 100회 더 실행하였다. 디지털 음성과 데이터 전송에서 허용되는 오류율이 10^{-3} , 10^{-5} 임을 고려할 때 심볼 오류율이 10^{-3} 일 때 요구되는 SNR은 ACMA는 12.5dB, MCMA에는 20.1dB로 7.6dB정도 개선되고, 10^{-5} 일 때, ACMA는 15dB이며 MCMA는 23.5dB로 8.5dB정도 개선되었다. 허용 오류율 범위내에서 제안하는 ACMA가 MCMA보다 SNR 값을 적게 요구하는 양호한 심볼 오류율 특성을 얻을 수 있다.

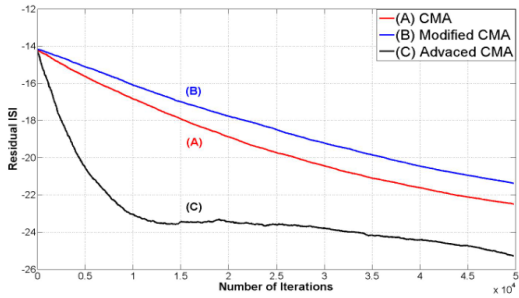


그림 7. 20dB에서의 잔류 ISI 성능 비교
Fig. 7. Residual ISI performance comparisons of 20dB

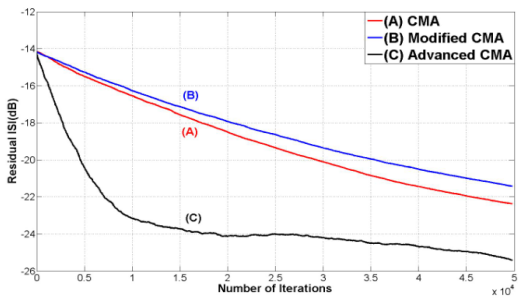


그림 8. 30dB에서의 잔류 ISI 성능 비교
Fig. 8. Residual ISI performance comparisons of 30dB

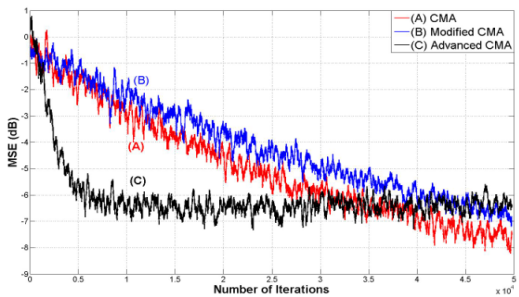


그림 9. 20dB에서의 MSE 성능 비교
Fig. 9. MSE performance comparisons of 20dB

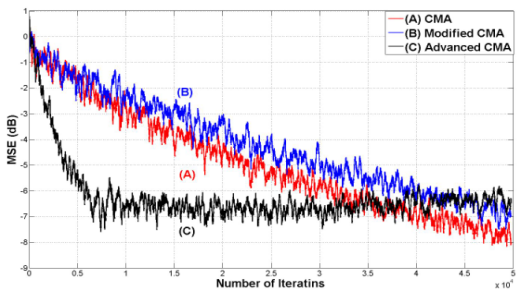


그림 10. 30dB에서의 MSE 성능 비교
Fig. 10. MSE performance comparisons of 30dB

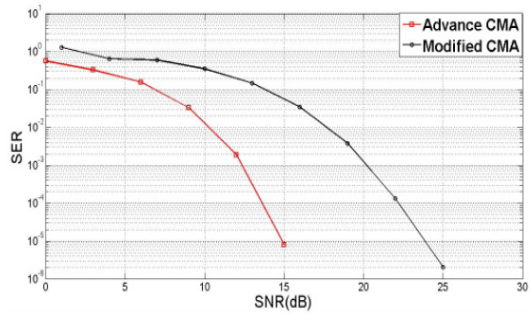


그림 11. SNR에 따른 SER 성능
Fig. 11. SER performance according to SNR

V. 결론

본 논문은 디지털 부호를 전송 할 때 통신 채널에서 발생하는 부호간 간섭 영향을 제거하고 부가 잡음의 영향을 최소화시키기 위하여 사용되는 적응 등화기의 성능 개선을 위한 ACMA 알고리즘에 관한 것이다. 이를 위한 성능의 비교 알고리즘으로는 CMA와 MCMA를 대상으로 하였다. 각 알고리즘에서는 성능의 비교를 위하여 복원 정상도, 잔류 ISI, MSE 및 심볼 오류율을 사용하였으며, 이때 송신 신호로는 16-QAM을 적용하였다. 시뮬레이션 결과 복원 정상도에서는 진폭과 위상 복원 성능 및 신호점들의 폭에서 ACMA 가 다른 방식보다 우월함을 알 수 있었다. 잔류 ISI 및 MSE에서 정상 상태에 이르기 위한 수렴 속도와 그때의 잔류 ISI양, MSE 양이 ACMA 인 경우 -23dB와 -6.5dB에서 기준으로 iteration이 10000 회 일 때 정상상태에 도달 한다. CMA와 MCMA는 잔류 ISI에서는 정상 상태에는 도달하지 않았으며 MSE는 25,000~30,000 정도에서 도달하는 것을 확인되어 수렴 속도가 늦어짐을 알 수 있다. 심볼 오류율 성능에서는 10^{-3} 일 때 ACMA가 MCMA보다 7.6dB의 등화 이득을 얻었고, 10^{-5} 일 때 8.5dB의 등화 이득을 얻었다. 컴퓨터 시뮬레이션 결과 4가지 성능 분석 지수에서 제안한 ACMA가 기존의 CMA와 MCMA보다 모든 성능이 우월함을 알 수 있다.

참고 문헌

- [1] D. N. Godard, "Self-recovering equalization and

- carrier tracking in two-dimensional data communication systems," IEEE Trans. Comm., Vol. 28, Nov. 1980, pp. 1867-1875.
- [2] J. R. Treichler and B. G. Agee, "A new approach to multipath correction of constant modulus signals," IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Process., Vol. 31, Apr. 1983, pp. 456-472.
- [3] F.C.C. De Castro, M.C.F. De Castro, and D.S. Arantes, "Concurrent blind deconvolution for channel equalization", in Proc. IEEE ICC, Helsinki, Finland, Vol. 2, pp. 366-371, June 2001.
- [4] M.T.M Silva, M.D. Miranda, and R. Soares, "Concurrent algorithm for blind adaptation of DFE.", Electronics, Vol.41. No.16, pp.63-64, 4th August, 2005
- [5] V.veerackody and S.A. Kassam, "Dual Mode Type Alogritms for Blind Equalization", IEEE Trans Commun., vol. COM-42, no.6 pp.22-28, jan. 1994
- [6] K.N Oh, "A single/Multilevel Modulus Algoritm for Blind Equalization of QAM Signal", IEICE Trans. Fundamentals, Vol.E80-A, No. 6, pp 1033-1039, June 1997.
- [7] Jae-Sun Yoon, Seung-Gag Lim "Performance Improvement of MCMA Equalizer with Parallel Structure ", IWIT, pp.027-033, Vol.11, 2011
- [8] Seung-Gag Lim, Young-Hwa Jeong "The Performance Improvement of CMA Adaptive in 16-QAM Signal using the Coordinate Reduction.", IWIT pp.107-113, Vol.11, 2011
- [9] Wei Rao, Kang-min Yuan, Ye-cai Guo and Chao Yang, "A simple constant modulus algorithm for blind equalization suitable for 16-QAM signal", the 9th international conference on signal processing, vol. 2, pp.1963-1966, 2008.
- [10] Wei Rao, Jing-jing Lian and etc, "Simple Approach for Joint Blind Equalization and Order Detection Suitable for QAM Signal", 2009 IEEE Interational Workshop in Imaging System & Techniques Proceedings, pp. 344-347, May 11-12, 2009.

저자 소개

윤재선 (준회원)



학과 박사 과정

<주관심분야 : 적응필터, 이동통신, 재난통신>

- 2002년 관동대학교 전자공학과 학사 졸업.
- 2006년 홍익대학교 전자공학과 석사 졸업.
- 2009년 공주대학교 정보통신공학과 박사 과정
- 2009년~현재 공주대학교 정보통신공

임승각 (정회원)



학부 교수.

<주관심 분야 : 통신/방송 시스템, 이동통신>

- 1983년 숭실대학교 전자공학과 학사 졸업.
- 1985년 경희대학교 전자공학과 석사 졸업.
- 1997년 경희대학교 전자공학과 박사 졸업
- 2003년~현재 공주대학교 정보통신공